



UNIVERSITE DE LILLE
FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG
Année 2022

THESE POUR LE DIPLOME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN MEDECINE

**Étude pilote pour la validation du test de
la Vocale Rapide dans le Bruit à 1 haut-parleur
dans l'indication d'appareillage de la presbyacousie**

Présentée et soutenue publiquement le 9 mars 2022
à 18h au pôle Recherche
par Jeanne Macario

JURY :

Président et Directeur de thèse :

Monsieur le Professeur Christophe Vincent

Assesseurs :

Monsieur le Professeur Dominique Chevalier

Monsieur le Professeur Pierre Fayoux

Monsieur le Docteur Cyril Beck

Travail du Service d'Otoneurologie – CHU de Lille

Avertissement

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

Abréviations

BIAP	Bureau International d'Audiophonologie
CCE	Cellule Ciliée Externe
CCI	Cellule Ciliée Interne
CHU	Centre Hospitalier Universitaire
CPP	Comité de Protection des Personnes
dB	Decibel
dB HL	Decibel Hearing Level (valeur pondérée statistiquement)
dB SPL	Decibel Sound Pressure Level (valeur physique)
HHIE-S	Hearing Handicap Inventory for the Elderly-Screening
HTA	Hypertension Artérielle
Hz	Hertz
IRM	Imagerie par Résonance Magnétique
ORL	Otorhinolaryngologie
PEA	Potentiels Évoqués Auditifs
SRT	Speech Recognition Threshold = Seuil en audiométrie Vocale
STM	Seuil Tonal Moyen
VRB	Vocale Rapide dans le Bruit

Sommaire

Avertissement.....	2
Abréviations.....	3
Sommaire	4
Introduction.....	6
1 Contexte actuel	6
1.1 Âge et audition.....	6
1.2 Audition dans le bruit.....	6
1.3 Avancée du système de santé en France	6
1.4 Évolution de la demande en réhabilitation auditive.....	7
1.5 Évolution de la prescription de réhabilitation auditive.....	7
2 Notions d'épidémiologie de la surdité du sujet âgé	8
2.1 Obstacles dans l'épidémiologie de la presbyacousie	8
2.2 Surdité à l'échelle mondiale.....	8
3 Physiopathologie de la presbyacousie et du défaut d'intelligibilité dans le bruit	10
3.1 Physiologie de base du système auditif.....	10
3.2 Intégration du signal vocal.....	12
3.3 Audition dans le bruit.....	13
3.4 Anatomopathologie de la presbyacousie.....	14
3.4.1 Atteinte des cellules sensorielles	15
3.4.2 Atteinte des cellules nerveuses.....	15
3.4.3 Atteinte de la strie vasculaire	15
3.4.4 Atteinte de la membrane basilaire.....	15
3.5 Surdité cachée et synaptopathies.....	17
3.6 Implication des facteurs centraux dans le déclin auditif.....	19
4 Facteurs de risque de la presbyacousie	21
4.1 Âge et sexe	21
4.2 Facteurs de risque cardiovasculaires	23
4.3 Facteurs liés à l'environnement.....	24
4.4 Facteurs liés à la génétique.....	25
5 Impacts de la déficience auditive chez le sujet âgé.....	26
5.1 Impact social de la surdité du sujet âgé.....	26
5.2 Impact neuropsychiatrique de la surdité du sujet âgé.....	26
5.3 Impact moteur de la perte auditive chez le sujet âgé.....	28
6 Stratégie diagnostique de la presbyacousie et parcours de soin du patient presbyacousique	28
6.1 Intérêt du questionnaire HHIE-S.....	31
7 Mise en évidence clinique d'un trouble de l'intelligibilité dans le bruit.....	31
7.1 Tests existants.....	31
7.2 Intérêt du test VRB	33
8 Enjeux de la réhabilitation auditive chez le sujet âgé	36
8.1 Entrave à la généralisation de l'appareillage auditif chez le sujet âgé.....	36
8.2 Nouvelle offre de soin.....	37
8.3 Intérêt de la réhabilitation auditive du sujet presbyacousique	38
9 Objectif	40

Matériel et méthodes	41
1 Design de l'étude.....	41
1.1 Critères d'inclusion	41
1.2 Critères d'exclusion	42
2 Patients et données.....	42
2.1 Critères retenus dans l'étude.....	42
2.1.1 Définition des sujets du groupe « témoins »	42
2.1.2 Définition des sujets du groupe « malades »	43
2.2 Mode de recrutement	44
2.2.1 Groupe « malades »	44
2.2.2 Groupe témoin	44
2.3 Données.....	45
2.3.1 Données de bases	45
2.3.2 Test à l'étude réalisé : VRB 1.1.....	45
3 Analyse de données	47
4 Analyse statistique.....	48
5 Cadre réglementaire.....	48
5.1 Financement.....	48
5.2 Validation du protocole de recherche	48
5.3 Information et consentement	48
Résultats.....	49
1 Flowchart.....	49
2 Description des patients à l'inclusion.....	50
3 Résultats aux tests réalisés	52
4 Analyse du test diagnostique.....	55
4.1 VRB 1.1 et indication d'appareillage.....	55
4.2 Score HHIE-S et indication d'appareillage.....	57
4.3 Normes au VRB 1.1 dans notre échantillon.....	59
4.4 Aires sous la courbe du VRB 1.1.....	64
Discussion	66
1 Principaux résultats	66
2 Discussion des résultats.....	66
3 Discussion de la méthode	67
3.1 Mode de passation du VRB.....	67
3.2 Mode de recrutement	68
4 Perspectives / significativité clinique.....	69
4.1 Perspectives attendues de nos résultats	69
Conclusion.....	71
Liste des figures	72
Références	74
Annexes.....	85

Introduction

1 Contexte actuel

1.1 Âge et audition

Nous nous intéressons ici au sujet presbycousique. Il s'agit d'une problématique de santé publique importante dans le contexte actuel de vieillissement continu de la population, les plus de 65 ans représentant 20,5% de la population française au 1^{er} janvier 2020, soit quasiment 5% de plus qu'il y a 20 ans [1]. En effet, il est largement décrit que l'audition se dégrade naturellement avec l'âge [2], et nous détaillerons plus bas la physiopathologie et les conséquences de cette surdité.

1.2 Audition dans le bruit

Empiriquement, la plainte auditive la plus fréquemment rapportée des patients presbycousiques concerne l'audition dans le bruit. Or, une intelligibilité correcte en milieu bruyant est nécessaire au quotidien dans de multiples situations (aux repas de famille, dans les transports en commun, au supermarché...). Il s'agit des instants de la vie courante où le patient crée du lien social. La privation d'une communication optimale dans ces moments peut conduire le sujet vers un isolement, voire une dépression, et à terme, contribuer à une démence [3].

1.3 Avancée du système de santé en France

Cette problématique de la compréhension en milieux bruyants est de mieux en mieux prise en compte par les autorités en France. L'arrêté du 14 novembre 2018 portant modification des modalités de prise en charge des aides auditives donne ainsi une valeur toute particulière à l'évaluation de l'intelligibilité dans le bruit [4]. En effet une dégradation significative de celle-ci est une condition suffisante à la prise en charge

d'un appareillage auditif, reconnaissant le fait qu'il peut exister une dégradation handicapante de l'intelligibilité dans le bruit sans perte auditive significative dans le silence par ailleurs.

1.4 Évolution de la demande en réhabilitation auditive

À partir de 2021, la mise en application de la réforme précitée modifie concrètement la prise en charge financière d'un appareillage auditif, avec un meilleur remboursement à la clé [5]. La généralisation de l'accès à l'appareillage auditif peut soulever la question de l'accès au prescripteur. Conjonctuellement, la pandémie à COVID-19 ayant requis le port du masque en société a par ailleurs entraîné une majoration de la plainte auditive de patients qui auparavant s'appuyaient beaucoup sur la lecture labio-faciale, et une meilleure motivation pour l'appareillage auditif [6].

1.5 Évolution de la prescription de réhabilitation auditive

Officiellement, les médecins généralistes « formés en otologie » sont habilités à prescrire un primo appareillage auditif chez les sujets de plus de 6 ans, mais les modalités pratiques de la formation restent actuellement en suspens. Ils bénéficient toujours d'une dérogation pour cette prescription sans formation otologique. Différentes solutions sont évoquées pour faire correspondre l'augmentation de la demande en aide auditives avec une prescription appropriée. Il est évoqué par le Conseil National Professionnel d'Otorhinolaryngologie (ORL) la possibilité d'augmenter le numerus clausus en ORL en favorisant un parcours non chirurgical pour les internes qui le souhaitent, ou la revalorisation des actes d'audiométrie dont le tarif reste figé depuis de nombreuses années [7]

2 Notions d'épidémiologie de la surdité du sujet âgé

2.1 Obstacles dans l'épidémiologie de la presbyacousie

La caractérisation épidémiologique de la presbyacousie est rendue difficile par l'existence d'un continuum entre l'état normal et pathologique. Selon les critères de classification utilisés, l'audition du sujet peut être considérée comme normale pour sa tranche d'âge ou pathologique par rapport à un sujet plus jeune.

Chez les sujets de plus de 60 ans, l'étiologie la plus fréquente de la surdité est la presbyacousie, correspondant au vieillissement physiologique de l'oreille. Elle se définit comme une surdité bilatérale et symétrique, neurosensorielle, prédominant sur les fréquences aiguës. Il peut néanmoins être complexe d'affirmer formellement la cause de la surdité, qui peut être multifactorielle.

La classification de l'audition du patient dépend également des seuils retenus en audiométrie tonale pour caractériser l'audition. En effet, celle-ci se dégrade naturellement d'abord sur les fréquences les plus aiguës, mais classiquement, la donnée numérique unique retenue par le Bureau International d'Audiophonologie (BIAP) pour caractériser l'audition d'une oreille est le seuil tonal moyen qui ne prend pas en compte les fréquences au-delà de 4000Hz [8].

2.2 Surdité à l'échelle mondiale

Dans les études épidémiologiques de l'audition, il faut identifier la méthodologie retenue par les auteurs pour la mesurer. L'audition peut être évaluée de façon déclarative par des questionnaires au cours d'études de grande cohortes s'intéressant à l'état de santé global d'une population ou par une audiométrie [2].

Selon l’OMS, 1,5 milliard de personnes tous âges confondus seraient atteintes d’une surdité plus ou moins prononcée, et parmi ces personnes, 430 millions necessiteraient une réhabilitation auditive. La prévalence de la surdité augmente également au cours de la vie puisque plus de 25% des sujets âgés de plus de 60 ans présenteraient un déficit auditif incapacitant, avec une perte auditive supérieure à 35dB pour leur meilleure oreille [9].

Il y a peu de données disponibles sur la prévalence actuelle de la presbyacousie en France. En 1999, l’enquête « Handicaps, incapacité, dépendance » de la Direction de la recherche, des études, de l’évaluation et des statistiques retrouvait de manière déclarative environ 22% de déficit auditif chez les personnes de 60 à 74 ans et jusqu’à 43% chez les plus de 75 ans [10].

Dans d’autres pays développés tels que les  tats-Unis, différentes études épidémiologiques estiment que jusqu’à un tiers des personnes de plus de 70 ans seraient atteintes d’une surdité [11].   l’horizon de 2060, il est même estimé que le nombre de personnes ayant une perte auditive aura plus que doublé devant les prévisions démographiques de vieillissement de la population, passant de 38 millions à 73 millions [12]. Selon les études, on retrouve jusqu’à 100% de presbyacousie chez les sujets de plus de 80 ans [13].

Retenons qu’entre 60 et 70 ans, environ un tiers de la population est atteint d’une surdité plus ou moins importante, ce chiffre atteignant probablement une large majorité de la population (plus de 90%)   partir de 80 ans.

3 Physiopathologie de la presbyacousie et du défaut d'intelligibilité dans le bruit

3.1 Physiologie de base du système auditif

L'audition normale nécessite la transmission d'une onde sonore, constituant un signal mécanique, vers l'oreille interne où elle est transformée en un signal électrique par l'organe de Corti : c'est la transduction mécano-électrique. Ce signal mécanique constitué par une variation de pression de l'air est caractérisé par son amplitude ou intensité, en échelle logarithmique du décibel (dB), et sa fréquence en hertz (Hz).

L'onde sonore bénéficie d'un premier traitement par l'oreille externe constituée du pavillon auditif cartilagineux et du conduit auditif externe qui joue le rôle de résonateur pour certaines fréquences (autour de 4000Hz) [14]. Elle poursuit ensuite sa progression via les micro mouvements de la membrane tympanique, transmises au malleus, relié avec l'incus par une articulation en selle permettant des mouvements selon 2 axes, lui-même articulé au stapes par une énarthrose autorisant des mouvements dans les 3 plans de l'espace. Il entre en vibration sur la fenêtre ovale, transmettant l'onde mécanique vers les liquides de l'oreille interne.

La cochlée, anciennement appelée limaçon, correspond au « capteur » de l'audition, nichée au sein de l'os temporal, elle est le lieu de la transduction mécano-électrique de l'onde sonore. Elle est physiologiquement remplie de liquides. Elle est subdivisée en 3 canalicules qui sont enroulés en spirale autour d'un axe osseux : le modiolus. Elle possède 2 ouvertures vers l'oreille moyenne : la fenêtre ovale, susmentionnée, et la fenêtre ronde, obturée par une membrane souple. La fenêtre ovale avec l'étrier répond à la rampe vestibulaire, tandis que la fenêtre ronde renferme la rampe tympanique. Ces 2 rampes se rejoignent à l'apex de la cochlée au niveau de l'hélicotreme et

contiennent de la périlymphe. Le canal cochléaire se loge entre les 2 rampes, il est rempli d'endolymphe et abrite l'organe de Corti.

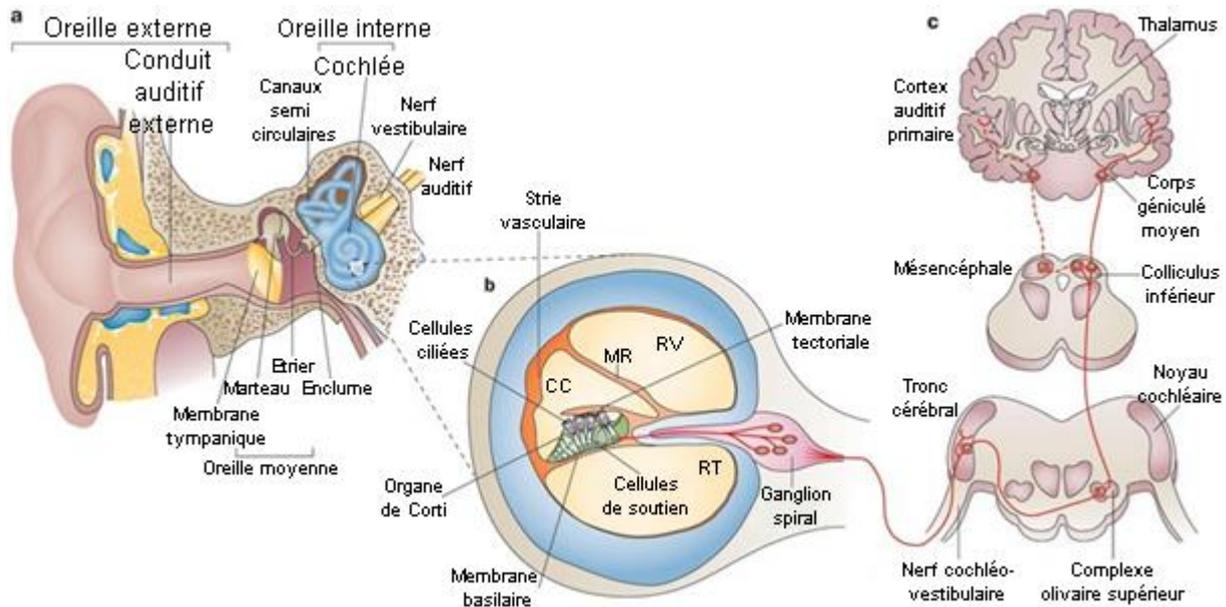


Figure 1 : Schéma de l'anatomie du système auditif. RV : Rampe vestibulaire, MR = Membrane de Reissner, CC : Canal cochléaire, RT : Rampe tympanique. Source Ng et al. Nature Reviews Endocrinology 2013 [15]

L'organe de Corti contient les cellules sensorielles auditives : ce sont les cellules ciliées internes (CCI) et externes (CCE). Les CCI sont environ 3500, et les CCE approximativement 12000, sans capacité de régénération cellulaire au cours de la vie. Les CCE, de forme conique, réagissent aux variations de pression acoustique par une mise en mouvement de leurs cils qui entraîne un enchaînement de polarisation et dépolarisation de la cellule, celle-ci réagit en s'allongeant ou en se raccourcissant, ce qui majore de façon localisée la vibration de la membrane basilaire et contribue à amplifier le signal sonore perçu. Les CCI sont piriformes et réagissent au signal sonore et à son amplification par les CCE en créant un potentiel d'action vers les fibres du nerf auditif. Les CCE sont plus sensibles que les CCI à la dégradation par des bruits forts [16] ; elles ont un rôle d'amplification du signal sonore mais leur perte totale, qui est tardive ne majore que de 30 à 40dB les seuils auditifs [17].

Les fibres nerveuses auditives naissent aux différents niveaux de la cochlée. Un premier relais nerveux est constitué par le ganglion spiral. Les fibres se rejoignent ensuite dans le modiulus pour former le nerf auditif. Celui-ci forme un second relais dans le tronc cérébral, puis dans le colliculus inférieur. Les informations sont ensuite intégrées dans le corps géniculé médian avant d'atteindre le cortex auditif primaire à l'étage cérébral (Figure 1)

3.2 Intégration du signal vocal

Le signal vocal est reconnu par le système auditif humain grâce à sa décomposition en indices spectraux et en indices temporels (Figure 2)

Le spectre du signal sonore correspond à l'ensemble des fréquences dont il est constitué. Au niveau de l'oreille interne, le signal est décomposé en sons purs stimulant des zones précises de la membrane basilaire, c'est la codage fréquentiel assuré par la tonotopie cochléaire et le phase-locking (verrouillage en phase).

Les indices temporels du signal vocal sont l'enveloppe et la structure temporelle fine et semblent être suffisants pour permettre l'intelligibilité [18]. Les indices temporels, sont encodés par les fibres nerveuses afférentes du nerf auditif, en fonction de leur vitesse propre de décharge.

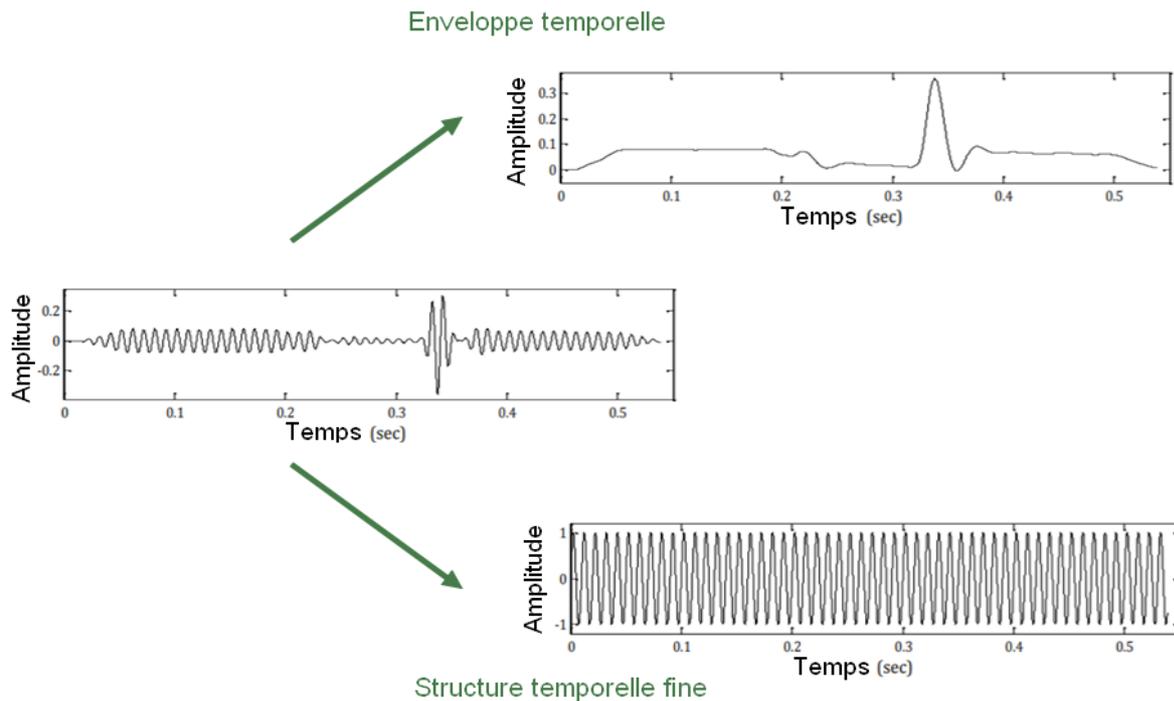


Figure 2 - Schéma de la décomposition temporelle du signal vocal d'après Somashekara et al. [19]

3.3 Audition dans le bruit

L'intelligibilité dans le bruit nécessite la capacité du système auditif du sujet à diriger son attention sélectivement vers le signal pertinent [20,21] et à l'analyser finement en décomposition spectrale et temporelle malgré le bruit alentour [22]. Le fonctionnement de l'audition dans le bruit se comprend à travers la description du mécanisme de l'encodage supraliminaire [23]. En effet, l'encodage du seuil ne semble requérir qu'un petit nombre de cellules cillées et des fibres nerveuses auditives fiables [24].

On distingue 3 populations de fibres nerveuses auditives qui permettent d'encoder les variations d'intensité du signal sonore, faisant individuellement synapse avec une CCI. En effet, les fibres à haute activité spontanée seront aptes à dépolariser pour de très faibles intensités (environ 5dB SPL) et ainsi encoder le seuil auditif. Elles sont la population la plus nombreuse (environ 60%). Elles augmentent leur réponse évoquée

avec l'intensité en diminuant la latence de réponse jusqu'à atteindre une saturation vers 30-40dB SPL où leur rôle de discrimination en intensité s'arrête. Les fibres à activité intermédiaire, représentant environ 25% des fibres, s'activent pour des intensités plus élevées (autour de 30-40dB SPL) puis suivent le même schéma en saturant vers 50-60dB SPL. Les fibres à basse activité spontanée, sont activées pour des intensités supérieures à 50dB SPL, elles représentent environ 15% des fibres.

Dans un milieu bruyant, les différentes fibres nerveuses ont davantage de signaux à traiter que dans un environnement calme, elles vont donc être mises en jeu différemment par rapport au milieu silencieux, en ayant par exemple tendance à augmenter leur seuil propre de décharge, pour « ignorer » le bruit alentour. Elles sont aussi fonctionnellement réparties différemment le long de la cochlée, assurant ainsi un enrichissement de l'encodage autour des fréquences de la parole [25].

Les fibres nerveuses à taux de décharge bas sont les plus sensibles à l'exposition au bruit, et à se voir détériorées définitivement, or ce sont également elles qui permettent la meilleure dynamique de discrimination dans le bruit grâce à leur capacité à se dépolariser pour des seuils plus élevés [26]. On comprend ainsi la valeur ajoutée d'un test dans le bruit par rapport à un test tonal dans le silence, permettant de mettre en évidence la détérioration de certaines fibres et la gêne du patient.

3.4 Anatomopathologie de la presbyacousie

Diverses lésions peuvent expliquer la perte auditive progressive. Certaines atteintes anatomiques ont pu être décrites il y a une trentaine d'années dans un échantillon de patients presbyacousiques et classifiées par Schuknecht en microscopie optique et électronique [27].

3.4.1 Atteinte des cellules sensorielles

Les cellules ciliées internes et externes peuvent présenter des atteintes variables qui semblent débiter par une perte des stéréocils, puis leur nombre diminue jusqu'à atteindre un aspect d'épithélium indifférencié. L'accumulation progressive de lipofuscine (pigment visible en microscopie optique retrouvé dans les cellules en voie de senescence) au pôle apical des cellules semble précéder leur disparition. Les cellules ciliées externes disparaissent plus précocement que les cellules ciliées internes qui sont plus robustes, sans qu'il y ait de franche différence entre l'apex et la base

3.4.2 Atteinte des cellules nerveuses

La perte des cellules ciliées semble entraîner la perte des dendrites qui y sont couplées puis des corps cellulaires neuronaux [28]. Les cellules nerveuses peuvent aussi diminuer indépendamment des cellules sensorielles et cela semble provoquer une diminution des capacités de discrimination plus importante que ne le laisserait présager la perte tonale.

3.4.3 Atteinte de la strie vasculaire

Il s'agit d'une structure richement vascularisée à l'origine de la production l'endolymphe. Son atteinte est moins fréquemment retrouvée dans les travaux de Schuknecht et la corrélation auditive est plus discutable.

3.4.4 Atteinte de la membrane basilaire

Chez certains patients presbyacousiques, aucunes des 3 structures ci-dessus ne sont lésées. Il est alors supposé que la membrane basilaire est en cause. Elle possède une structure plus épaisse et étroite à la base de la cochlée alors qu'elle est plus mince et

large à l'apex, expliquant ainsi sa moindre robustesse pour les fréquences les plus aiguës. Des lésions de calcifications ou d'accumulation de dépôts lipidiques de la membrane basilaire ont pu être identifiées pour étayer cette hypothèse.

Plus récemment, la dissection du rocher chez 20 sujets otologiquement normaux retrouvait une perte des cellules ciliées homogène aux différents étages de la cochlée, mais légèrement plus marquée à la base et à l'apex, en défaveur de l'hypothèse que seule la perte des cellules ciliées expliquerait les dégradations audiométriques tonales dans le silence, surtout dans les fréquences aiguës. Les fibres nerveuses sont par contre beaucoup plus atteintes avec l'âge des sujets, notamment dans les fréquences aiguës (Figure 3) [29]

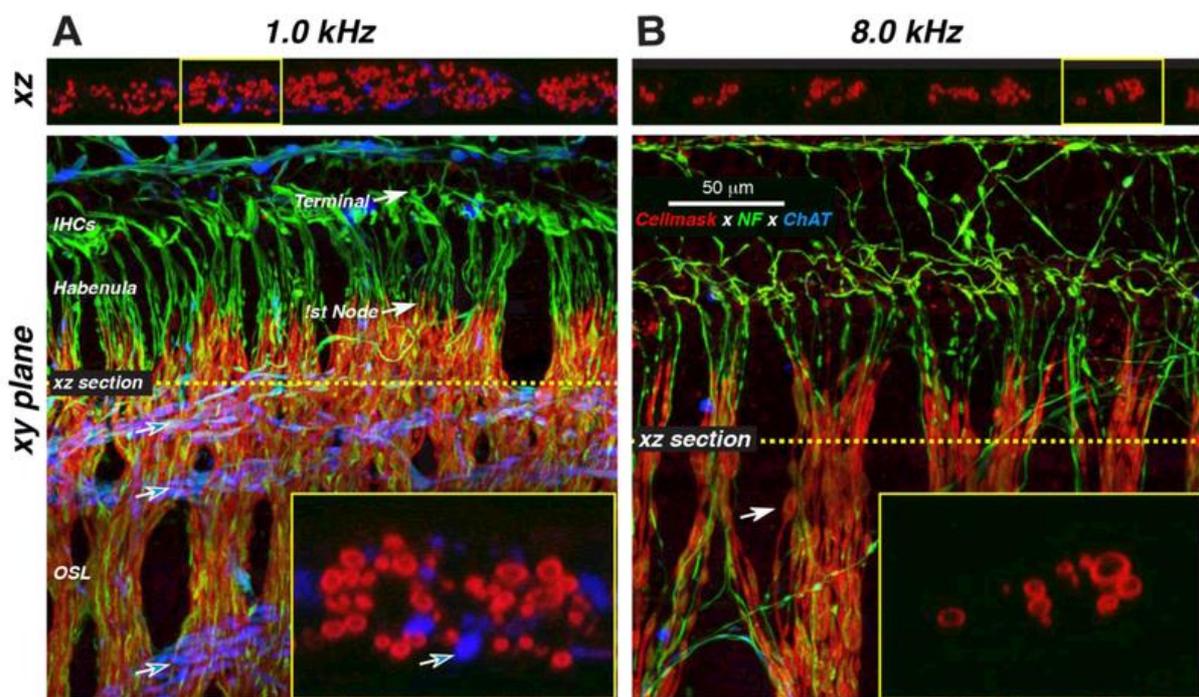


Figure 3 - Image de microscopie confocale d'une coupe en pleine épaisseur de la lame osseuse spirale d'un sujet presbycousique (A) : dans la zone de 1000Hz (B) : Dans la zone de 8000Hz. Les pointes bleues repèrent les neurones efférents olivo-cochléaires par un marqueur de la choline acetyl transférase [29]

3.5 Surdité cachée et synaptopathies

Parfois les patients décrivent une gêne auditive à la compréhension dans le bruit qui ne se traduit ni par une perte tonale marquée ni par une chute des performances en audiométrie vocale dans le silence, cela correspond au concept de surdité cachée. Différents mécanismes sous-jacents pourraient être impliqués pour expliquer cette discordance d'audition dans le bruit et dans le silence. De nombreux travaux récents ont étudié l'importance de l'intégrité de la synapse entre la cellule ciliée et la ou les fibres nerveuses auditives pour l'audition dans le bruit (Figure 4).

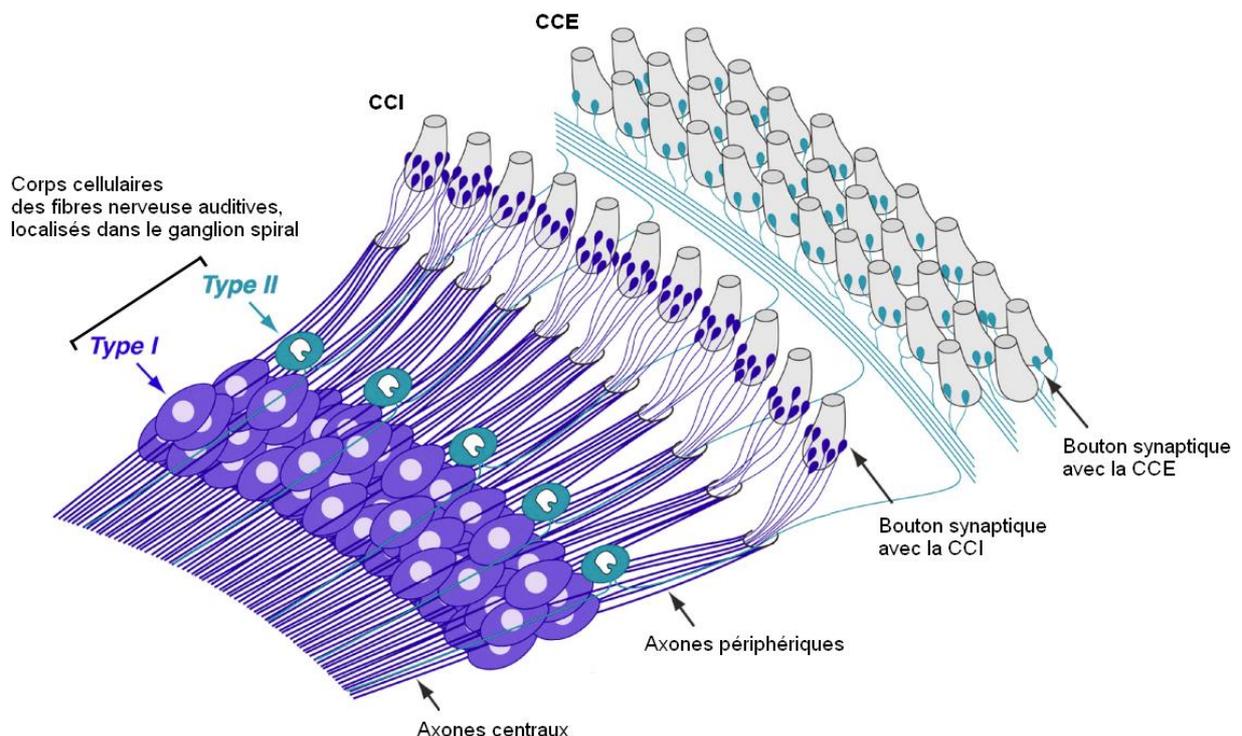


Figure 4 - Schéma de l'innervation des cellules ciliées dans la cochlée. La synapse est une structure clé dont la dégradation serait au centre des problématiques de discrimination dans le bruit. D'après Liberman et al. [30]

La presbycusie et la surdité liée aux traumatismes sonores répétés présentent des particularités communes [28,30]. Elles ont notamment toutes deux une prédominance

sur les fréquences aiguës et leur physiopathologie implique une dégradation synaptique puis des fibres nerveuses précédant la perte des cellules sensorielles.

Il s'avère qu'après un traumatisme sonore le sujet récupère la plupart du temps une audiométrie tonale dans le silence normale mais certaines structures sont endommagées définitivement. En effet, l'audiogramme dans le silence reflète le fonctionnement des CCI qui ont un bon potentiel de récupération après un traumatisme sonore. Les bruits forts endommagent les cils avant d'endommager les cellules ciliées et ces dommages sont irréversibles. Les bruits forts endommagent également la synapse avec les fibres nerveuses auditives probablement par une décharge glutamatergique trop importante en encodant une forte intensité [31].

Auparavant, les difficultés de compréhension dans le bruit avec audiogramme conservé dans le silence étaient imputées uniquement à un défaut de traitement cérébral du signal. Il semble que les fibres nerveuses soient en fait au cœur de cette problématique [15,19]. L'audiogramme dans le silence est conservé tant qu'il reste plus de 20% des fibres nerveuses auditives. En effet, leur multiplicité sert à donner de la définition et de la précision au signal sonore, mais la détection dans le silence nécessite peu de fibres. La destruction de la synapse apparaît en premier puis la fibre et le corps du neurone sont détruits progressivement en quelques semaines/mois. Les problématiques d'acouphène et d'hyperacousie seraient également imputables à des synaptopathies.

En électrophysiologie, l'étude des Potentiels Evoqués Auditifs (PEA) permet de mettre en évidence les synaptopathies [32]. Traditionnellement, les PEA sont utilisés en clinique pour déterminer de façon binaire si le sujet perçoit ou non un son en recherchant une réponse électrique prédéfinie à une stimulation pour une fréquence

et une intensité donnée ; leur réalisation chez des étudiants dans le cadre d'une recherche sur les surdités cachées a retrouvé des amplitudes de réponses plus faibles de l'onde I chez ceux qui étaient exposés aux bruits forts de concerts ou boîtes de nuit, correspondant à une atteinte très « périphérique » des voies auditives centrales explorées par les PEA [33].

3.6 Implication des facteurs centraux dans le déclin auditif

Avec l'âge, apparaissent également des troubles des centraux de l'encodage du signal sonore. La surdité centrale correspond à un défaut d'encodage du signal auditif ne faisant pas intervenir les fonctions supérieures telles que le langage (champ lexical, syntaxe...) ou les fonctions cognitives [34,35]. La compréhension d'un signal vocal nécessite en effet à la fois son encodage correct par le système auditif périphérique puis par les voies centrales du langage. Un mot sera ainsi plus facilement compris dans une phrase où la suppléance mentale peut intervenir, que seul, hors contexte.

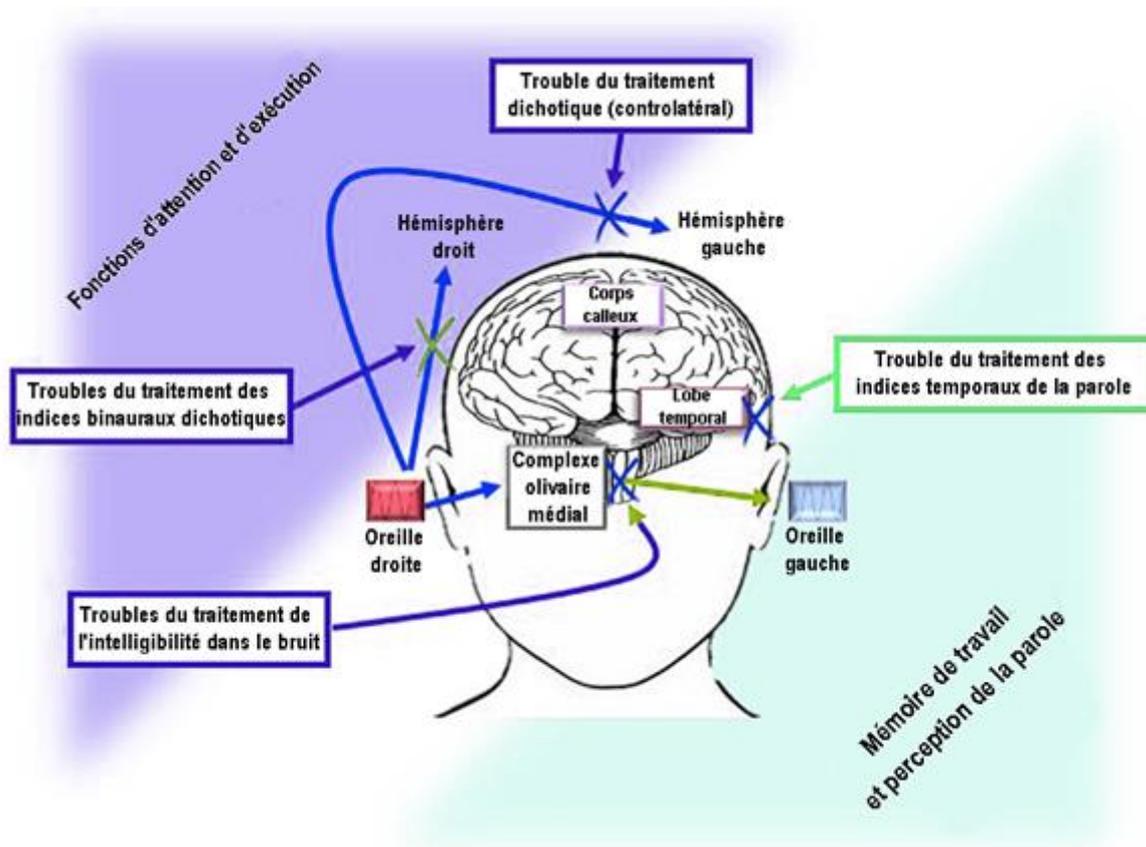


Figure 5 - schéma des voies centrales impliquées dans les troubles auditifs centraux.

d'après Sardone et al.[35]

Les surdités centrales se manifestent de différentes manières (Figure 5). On peut décrire des troubles de **l'intelligibilité dans le bruit**, qui seraient en partie expliqués par une atteinte du complexe olivaire médian, capable en temps normal de moduler l'activité transmise par les CCE pour réduire les gains des signaux bruyants [36]. On peut également retrouver une atteinte de **l'écoute dichotique binaurale** (capacité à traiter du signal auditif différent provenant des 2 oreilles), le corps calleux a un rôle dans l'écoute dichotique. Des tests d'écoute dichotique utilisant des signaux différents dans les 2 oreilles avec un signal compétitif sur l'oreille ipsilatérale ou controlatérale ont ainsi été développés, permettant de rechercher une atteinte de l'attention divisée (information des 2 oreilles nécessaires), ou de l'attention conjointe (réponse d'une

oreille en ignorant le signal émis dans l'autre) [37]. L'atteinte centrale de l'audition peut également provoquer une atteinte du **traitement des indices temporels**, notamment de la reconnaissance de modifications minimales de la durée du signal émis, qui est une faculté importante pour la reconnaissance d'un signal pertinent dans un bruit perturbant, grâce à l'identification d'intervalles temporels de réduction du bruit au sein d'un signal continu [38]. Cette atteinte est plus difficilement mise en évidence indépendamment des seuils auditifs du sujet et de ses fonctions cognitives. L'intégration de la **prosodie** (correspondant aux aspects non linguistiques du langage tels que les intonations, la mélodie ou l'accent) pourrait également être atteinte dans les surdités centrales, impliquant probablement les aires périsylviennes de l'hémisphère droit [39].

Il semblerait que l'atteinte centrale de l'audition liée à l'âge soit corrélée à l'atteinte des autres fonctions supérieures exécutives et que cela repose sur le même mécanisme physiopathologique neurodégénératif [40]. Elles seraient également un signe potentiellement précurseur d'une maladie d'Alzheimer [41].

L'atteinte centrale de l'audition du sujet âgé est toutefois fréquemment associée avec une atteinte périphérique comme la presbyacousie qui constitue un facteur de confusion pour son identification [42].

4 Facteurs de risque de la presbyacousie

4.1 Âge et sexe

Il existe naturellement un déclin physiologique des capacités auditives avec l'âge. On note également qu'à âge égal, dès 30 ans, les personnes de sexe masculin ont des

seuils audiométriques dans le silence plus élevés que les personnes de sexe féminin, notamment sur les fréquences aiguës. [43]

Il est évoqué que les récepteurs oestrogéniques présents au niveau de l'oreille interne pourraient être en lien avec la meilleure conservation de l'audition chez les femmes [44].

Des normes statistiques ont été établies par méta-analyse, le seuil auditif médian du groupe 20 ans correspondant par définition au 0 dB HL pour les différentes fréquences dans la norme ISO 7029. À noter que sur ces normes établies en 2000, elles ne concernent que les sujets jusqu'à 70 ans et que l'audiogramme normal retrouve des seuils inférieurs à 20 dB jusqu'à 1000Hz au 50^e percentile. Cette norme a été actualisée en 2016 en incluant une norme pour les sujets de 80 ans.

Une étude récente sur plus de 10000 patients otologiquement normaux [45] (otoscopie normale, sans asymétrie auditive supérieure à 15dB HL et avec une différence entre la courbe aérienne et osseuse inférieure à 10dB HL, en excluant les patients dont l'audition différait de plus de 0,5 déviation standard par rapport aux autres) présente les seuils auditifs attendus par tranche d'âge de 10 à 99 ans (Figure 6). On remarque également la meilleure conservation des seuils au fil des années chez les femmes. Il est également intéressant de noter qu'à partir de 70 ans, en moyenne, le seuil tonal moyen est déjà supérieur à 20 dB, correspondant à une surdité légère.

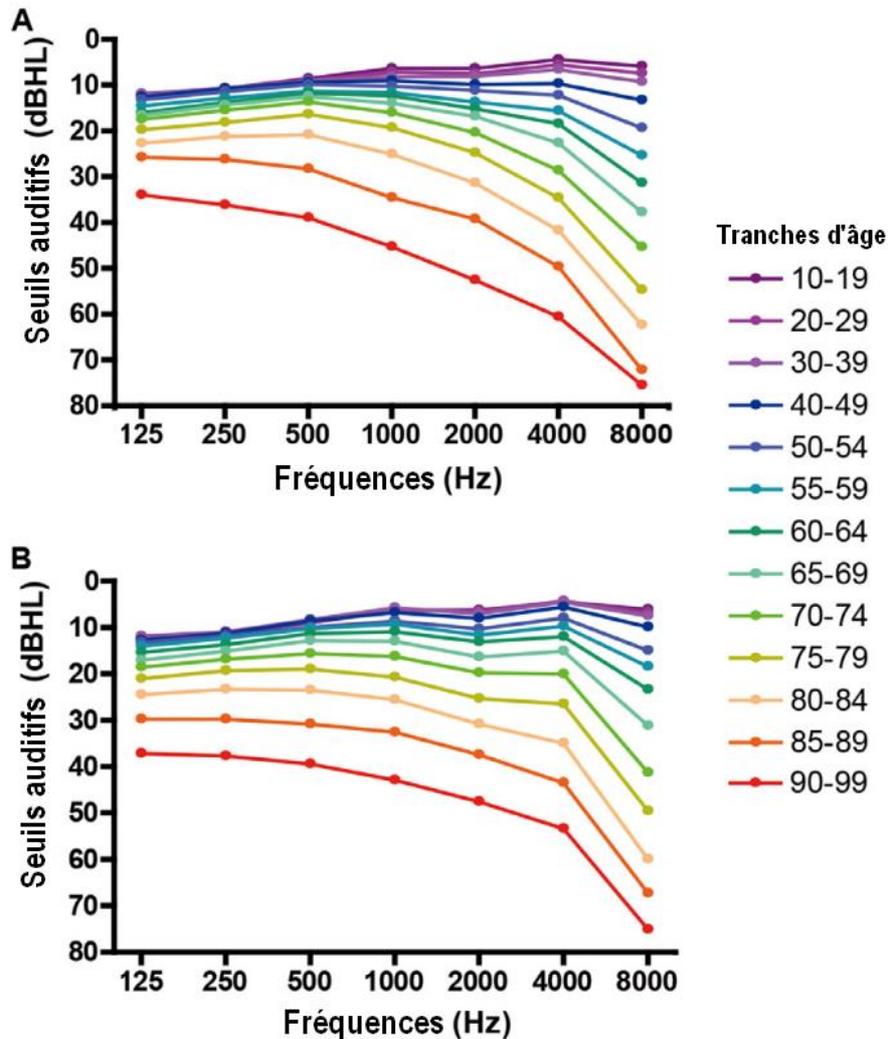


Figure 6 : Seuils moyens en conduction aérienne en dB HL par âge et par sexe chez des sujets otologiquement normaux : (A) Hommes, (B) Femmes. Source Wasano et al.

4.2 Facteurs de risque cardiovasculaires

De multiples travaux ont décrit une association franche entre la présence de facteurs de risque cardiovasculaires et la surdité. Dès la présence d'un facteur de risque parmi l'HTA, la dyslipidémie ou le diabète, on retrouve une majoration du risque de surdité, surtout chez les sujets de sexe masculin [46–48]. Le tabagisme seul ne semble pas contribuer significativement à la presbycusie, mais pourrait avoir un important effet synergique en étant associé à d'autres facteurs de risque cardiovasculaire [49]. La coronaropathie semble franchement associée à une presbycusie plus marquée [50].

Le traitement par statine réduirait le risque de développer une surdité, mais plutôt chez les sujets de sexe masculin [51]

Concernant les hypothèses pour expliquer cette association entre les facteurs de risque cardiovasculaires et la surdité liée à l'âge, on peut avancer que l'organe de l'audition est irrigué par un réseau microvasculaire terminal lui aussi sensible aux remodelages causés par l'hypertension artérielle chronique ou l'hyperglycémie, que ce soit au niveau de la strie vasculaire ou de l'artère cochléaire.

4.3 Facteurs liés à l'environnement

L'exposition au bruit est un facteur favorisant indéniable de la surdité liée à l'âge, majorant notamment la perte des cellules ciliées externes nécessaires à la compréhension dans le bruit, ainsi que la dégradation des fibres nerveuses auditives. [52]. L'exposition ponctuelle répétée à des bruits forts est un facteur de risque bien décrit de dégradation auditive [28,53,54]. La mise en mouvement brutale des liquides endolymphatiques, traumatiserait la jonction entre les cellules sensorielles et la membrane basilaire, causant ainsi des dégâts mécaniques sur les synapses avec les fibres nerveuses auditives [55]. Ceci entraîne un stress oxydatif [56], un influx toxique de calcium dans les cellules sensorielles [57], causant une réaction inflammatoire locale [58], dégradant à terme les synapses.

Chez l'humain, il est difficile de quantifier l'exposition au bruit. Il semblerait néanmoins qu'une exposition à des bruits moins intenses mais cependant prolongée soit aussi délétère : cela a été étudié chez la souris où l'on retrouvait une dégradation des seuils et une augmentation des latences en PEA après une exposition de 8h par jour durant 3 mois à un bruit blanc à 70dB SPL par rapport à un groupe contrôle non exposé [59].

Concernant l'alimentation, le lien est discutable ; une étude ne retrouvait pas de facteur protecteur du régime méditerranéen sur la présence d'une presbyacousie [60].

De façon plus indirecte, l'édentation chez le sujet âgé est également associée avec une plus forte proportion de presbyacousie [61], les mécanismes supposés concernent la désafférentation périphérique stomatologique induite par la perte des dents qui conduirait à une réorganisation du cortex sensitivomoteur, contribuant aux pathologies neurodégénératives. Le rôle de la déminéralisation osseuse sous-jacente à la perte des dents pourrait aussi expliquer le lien avec la presbyacousie, puisqu'il est retrouvé concernant l'ostéoporose plus particulièrement chez les femmes [62].

4.4 Facteurs liés à la génétique

L'existence de facteurs familiaux prédisposants à une surdité liée à l'âge plus marquée que la moyenne est suspectée depuis longtemps [63].

La susceptibilité génétique et l'exposition au stress oxydatif, comme facteurs favorisant la dégénérescence cellulaire sont probablement également en lien avec la presbyacousie [64]. Certains gènes semblent prédisposer à une atteinte plus sévère de l'audition liée au bruit. Des polymorphismes de la protéine NRF2 (utile dans les réparations liées au stress oxydatif) pourraient être mis en cause [65].

Des variants génétiques seraient vraisemblablement en cause de surdités de type presbyacousique survenant précocement ou avec des formes plus sévères [43]. Une étude récente a comparé le génome complet de personnes présentant une surdité sévère liée à l'âge, de présentation sporadique ou familiale, avec des témoins sans trouble auditif et permettait d'identifier des variants ultra rares pour lesquels des arguments supplémentaires permettaient d'avoir une forte suspicion de pathogénicité [66].

5 Impacts de la déficience auditive chez le sujet âgé

On estime que la perte auditive liée à l'âge a tendance à isoler le sujet d'un point de vue social et à constituer un facteur de risque de démence, de dépression, diminuant ainsi sa qualité de vie [2].

5.1 Impact social de la surdité du sujet âgé

Une large étude de cohorte retrouvait une forte corrélation entre la perte auditive tonale et l'isolement social mesuré par un questionnaire évaluant les relations sociales actuelles du sujet (de couple ou amicales, le sujet pouvant y trouver un soutien potentiellement émotionnel ou financier). Il était évalué que la probabilité d'isolement social augmentait jusqu'à 3,49 fois à chaque majoration de 25 dB HL de perte tonale moyenne chez les femmes entre 60 et 69 ans [67].

Cette perte auditive brouille la compréhension de la parole et rend la communication du sujet moins optimale, ce qui limite à terme les interactions sociales, entraînant son isolement. Les sujets âgés présentant une perte auditive ont ainsi tendance à éviter les situations sociales dans lesquelles un bruit ambiant complexifiera la communication [68], ainsi qu'à rester à leur domicile et à réduire leurs loisirs [69].

5.2 Impact neuropsychiatrique de la surdité du sujet âgé

Il semble également exister une corrélation entre cette perte auditive et l'apparition d'une dépression chez ces patients. Une méta-analyse récente sur 35 études regroupant plus de 147 000 patients concernant l'association entre surdité et dépression retrouve une majoration statistiquement significative du risque de dépression chez l'adulte présentant une surdité [70]. À l'étage cérébral, la perte auditive chronique induirait une réduction de l'activation des voies auditives centrales, en contrepartie, le réseau de compensation cognitive est davantage activé, la connexion entre le système limbique

et auditif est moins sollicitée, et il existe une désafférentation neurale induisant une atrophie frontale. Ces modifications pathologiques entraînent la baisse des performances cognitives, et majorent les dysfonctions exécutives des émotions et de l'humeur, ce qui augmente le risque de dépression [71].

Des mécanismes physiopathologiques communs semblent rapprocher la presbycousie de la démence et de la dépression du sujet âgé. Les déclin cognitif et auditif seraient ainsi tous deux expliqués par un mécanisme sous-jacent qui détériorerait simultanément ces 2 fonctions supérieures, reposant sur des pathologies microvasculaires notamment [72]. Il apparaît, de plus, qu'il existe un « effet-dose » entre une perte auditive en audiométrie tonale et une dégradation du MMS, sans que le lien de causalité puisse être déterminé [73].

Une étude de neuroimagerie en IRM fonctionnelle a été réalisée sur des sujets entre 60 et 77 ans déclarant leur audition comme normale. Ils devaient écouter des phrases à champ lexical simple mais avec une syntaxe plus ou moins complexe. Il semblerait que même pour une perte auditive légère on retrouve une réduction de l'activité neurale lors du traitement cérébral d'un signal vocal complexe, ce qui pourrait aussi conduire à une perte volumétrique de la substance grise dans le cortex auditif primaire [74]. La surdité mesurée par audiométrie chez des sujets sans troubles cognitifs semble également associée avec une perte plus rapide du volume du lobe temporal, de l'hippocampe et du cortex entorhinal, sur l'étude d'au moins 2 IRM chez ces sujets [75].

5.3 Impact moteur de la perte auditive chez le sujet âgé

Les capacités motrices du sujet âgé sont également influencées par son audition. Une étude transversale retrouvait une association entre une réduction des capacités motrices, le syndrome de fragilité, et la déficience auditive chez 1644 sujets de plus de 65 ans [76].

Les sujets presbyacousiques ont tendance à être plus instables en analyse posturographique [77]. La presbyacousie est en effet parfois accompagnée de presbyvestibulie, facteur de risque bien décrit de chutes chez le sujet âgé. Il semble néanmoins exister une majoration du risque de chute croissante avec l'importance de la perte auditive indépendamment de la présence d'un déficit vestibulaire [78]. En effet, pour évoluer dans son environnement, et coordonner ses mouvements le sujet a besoin d'indices acoustiques [79].

6 Stratégie diagnostique de la presbyacousie et parcours de soin du patient presbyacousique

La presbyacousie peut être plus ou moins prononcée et plus ou moins tolérée, par le patient comme par son entourage. Il est en effet assez complexe de déterminer les frontières entre le normal et le pathologique pour les déficiences liées à l'âge. La surdité du sujet âgé est alors souvent considérée comme normale et il n'est donc pas mis en œuvre de moyens pour y remédier [80–83].

La surdité est un handicap discret, qui est difficile à percevoir au premier abord [81] et les outils de dépistage sont encore à l'heure actuelle relativement méconnus des praticiens et des patients [84]. Seuls 9% des généralistes proposent un test auditif à leurs patients et seuls 25% des personnes pour lesquelles une aide auditive est indiquée sont appareillés [85].

La délégation de la prescription d'appareils auditifs aux médecins généralistes peut soulever le problème des pathologies spécifiques qui doivent bénéficier d'une prise en charge spécialisée, parfois chirurgicale, et qui nécessitent une expertise pour leur identification. C'est dans ce cadre qu'il est proposé d'imposer une formation en otologie aux médecins généralistes prescripteurs d'appareils auditifs.

D'autres modèles de prescription existent ainsi dans d'autres pays. Au Royaume-Uni, les audioprothésistes ont un statut de professionnels de santé et l'appareillage auditif peut être distribué sur 2 modes : directement en « prêt » par l'organisme équivalent à la Sécurité Sociale au sein d'un centre d'audition, cela peut être sur prescription médicale du médecin traitant ou d'un ORL, ou bien auprès d'entreprises privées commercialisant également des appareillages auditifs pour les patients souhaitant une offre élargie mais à un coût plus élevé [89].

Aux USA, « l'OTC hearing act », en discussion depuis 2015 va jusqu'à proposer des moyens de distribuer un appareillage auditif avec une prise en charge par des programmes comme Medicare, sans aucune prescription médicale, avec pré-réglage. Une étude américaine en 2011 comparait les appareils auditifs pré-réglés avec un appareillage réglé de façon personnalisée et optimale, (chacun comparé à un appareillage placebo, compensant uniquement la perte liée à l'occlusion du conduit auditif externe) dans une population de volontaires de plus de 55 ans avec une surdité légère à moyenne. Les 2 types d'appareillage apportaient un bénéfice objectif au patient, que ce soit sur un questionnaire de qualité d'audition ou sur l'amélioration de la perte d'intelligibilité sur un test dans le bruit, cependant les appareils pré-réglés satisfaisaient moins les patients et faisaient moins l'objet d'un achat que les appareils à réglages personnalisés [90].

De façon pragmatique et sur la base de modèles étrangers, des algorithmes simplifiés de prise en charge soulèvent des « red flags » (ou « drapeaux rouges », correspondant à des situations devant alerter le professionnel de santé). Ils proposent en quelques questions un protocole « go / no go » (qu'on traduira par « passe / passe pas », dans le contexte d'un arbre décisionnel) pour la prescription d'un appareillage auditif sans consultation spécialisée. Les situations où celle-ci est nécessaire sont ainsi identifiées [86,87]. Parmi les critères requis nous avons retenu :

- L'absence d'antécédent familial connu d'appareillage auditif avant l'âge de 60 ans. De fait, les surdités familiales sont parfois rattachées à des maladies génétiques comprenant d'autres anomalies. Citons le syndrome d'Alport qui peut se présenter comme une surdité familiale progressive mais qui comprend surtout une atteinte rénale avec insuffisance rénale progressive [88]
- L'absence d'antécédent de traumatisme crânien important (chute en hauteur ou accident de la voie publique par exemple). On pourrait ainsi évoquer une commotion labyrinthique provoquant une perte auditive plus marquée qu'attendue pour l'âge ou bien une cause curable comme une luxation ossiculaire.
- L'absence d'antécédent de chirurgie otologique. Ce dernier requiert un suivi régulier spécialisé par un ORL.
- L'absence d'antécédent de perte brutale auditive, hors obstruction du conduit auditif externe.
- L'absence de gêne ou de douleur dans une oreille.
- L'absence d'antécédent de vertiges rotatoires, hors vertiges paroxystiques positionnels bénins, suspectés dans le cas où ces vertiges durent moins d'une minute.

- L'absence d'acouphène, notamment asymétrique.

Une otoscopie permettant de visualiser l'ensemble du tympan est indispensable, ainsi qu'une acoumétrie au diapason pour rechercher une asymétrie auditive ou une surdité de transmission.

6.1 Intérêt du questionnaire HHIE-S

Un travail récent a permis de traduire et valider une version française du questionnaire « Hearing Handicap Inventory for the Elderly-Screening » [91]. Il s'agit d'un questionnaire qui s'appuie sur des situations du quotidien pour rechercher une gêne auditive chez ces patients et qui s'avère très performant pour dépister une presbyacousie.

C'est un questionnaire qui comporte 10 questions simples, très rapide à réaliser et qui permet d'obtenir une appréciation de la gêne du patient au quotidien.

Nous utilisons cet outil de dépistage dans notre étude de façon légèrement détournée. En effet, nous recherchons à obtenir la dimension subjective ressentie de l'audition du patient, notamment dans le bras témoin. Il sert d'outil de vérification dans le groupe « malades ».

7 Mise en évidence clinique d'un trouble de l'intelligibilité dans le bruit

7.1 Tests existants

La Société Française d'Audiologie a retenu 10 tests dans la littérature pour ses recommandations concernant l'audiométrie vocale dans le bruit [92,93] .

Le principe de ces tests est constant : un signal vocal préenregistré est diffusé dans un milieu bruyant, la personne testée doit répéter ce qu'elle a compris. Les mots clés à répéter doivent être imprévisibles (non déductibles les uns des autres). Au cours du test, soit la parole pertinente soit le bruit perturbant est d'intensité fixe tandis que l'autre varie. Le résultat du test est quantifié en « perte de Rapport Signal sur Bruit » (RSB), en dB RSB, correspondant à chaque étape du test à la différence entre l'intensité de la parole et celle du bruit.

Ces tests sont proposés sur différents supports et avec différents types d'écoute. Ils sont tous réalisables au casque, pour permettre une évaluation oreilles séparées. Néanmoins l'écoute au casque est moins écologique et modifie la résonance des sons produite par le pavillon. Nous soulignons aussi que le casque présente un caractère plus fragile, ce d'autant qu'il nécessite d'être manipulé par différentes personnes, nécessitant donc davantage d'entretien par rapport au haut-parleur pour l'usage simplifié que nous souhaitons faire ici. La calibration du casque est plus contraignante que celle du champ libre puisqu'elle nécessite l'usage d'une oreille artificielle en plus d'un sonomètre.

Le type de bruit utilisé varie selon les tests, il peut s'agir de bruit stationnaire (type bruit blanc filtré selon le spectre à long terme des items énoncés dans le test), présentant l'intérêt d'être constant et reproductible d'une passation à l'autre, ou de bruit informatif (bruit multilocuteur par superposition de plusieurs voix), plus écologique. L'usage de bruits informatifs présente de plus l'intérêt, en champ libre, de limiter l'apparition d'ondes stationnaires en fonction du positionnement du haut-parleur et du sujet. En effet, ces sinusoïdes complexes sont moins à même de s'annuler.

Certains tests utilisent des mots sans signification, s'affranchissant ainsi complètement de la suppléance mentale, pouvant être utilisés chez des sujets non francophones par exemple, c'est le cas de l'Audiométrie Verbo Fréquentielle dans le Bruit (**AVfB** ou Dodelé), basée sur la répétition de logatomes et qui dure environ 10 minutes et utilise l'Onde Vocale Globale comme bruit perturbant, ou du test **SUN** (speech understanding in noise) utilisant des suites voyelle-consonne-voyelle dans un bruit type bruit blanc filtré en densité spectrale de parole.

D'autres tests utilisent des chiffres, permettant une bonne accessibilité du test même chez l'enfant c'est le cas du **Digit Triplet Test** ou du **test des 3 chiffres antiphasique**, d'usage en dépistage et disponible sur smartphone.

Le signal vocal le plus utilisé en pratique courante est la phrase avec une notation possible à la phrase, au mot ou au mot clé. Dans cette catégorie, les 2 tests qui présentent le plus de polyvalence dans les indications possibles et dans le type d'écoute (notamment mesure du gain audioprothétique et usage chez les patients implantés cochléaires, usage au casque ou en champ libre) sont le **FraMATRIX**, développé par une équipe allemande et le **VRB**, que nous étudions ici dans le service où il a été développé.

7.2 Intérêt du test VRB

Le test VRB a été développé sur le modèle du test Quick SIN (Speech In Noise) américain [94] [95].

Il utilise 135 phrases, prononcées par une voix féminine parlant à vitesse normale sans accent, constituant 15 listes de 9 phrases, retenues parmi le corpus « Marginal Benefit from Acoustical Amplification » (MBAA), initialement développé pour tester les patients porteurs d'implants cochléaires. Les phrases contiennent chacune 3 mots clés, avec

une distribution phonémique représentative de la langue française. Le bruit perturbant utilisé est un bruit multilocuteurs créé à partir de l'Onde Vocale Globale qui est l'enregistrement de 2 couples homme-femme en train de discuter, un anglais et un français. Une boucle de 8 secondes de cet enregistrement est ainsi diffusée. Il permet de créer un ambiance sonore type « cocktail-party » assez fidèle et pertinente par rapport aux situations sociales où les patients décrivent une gêne.

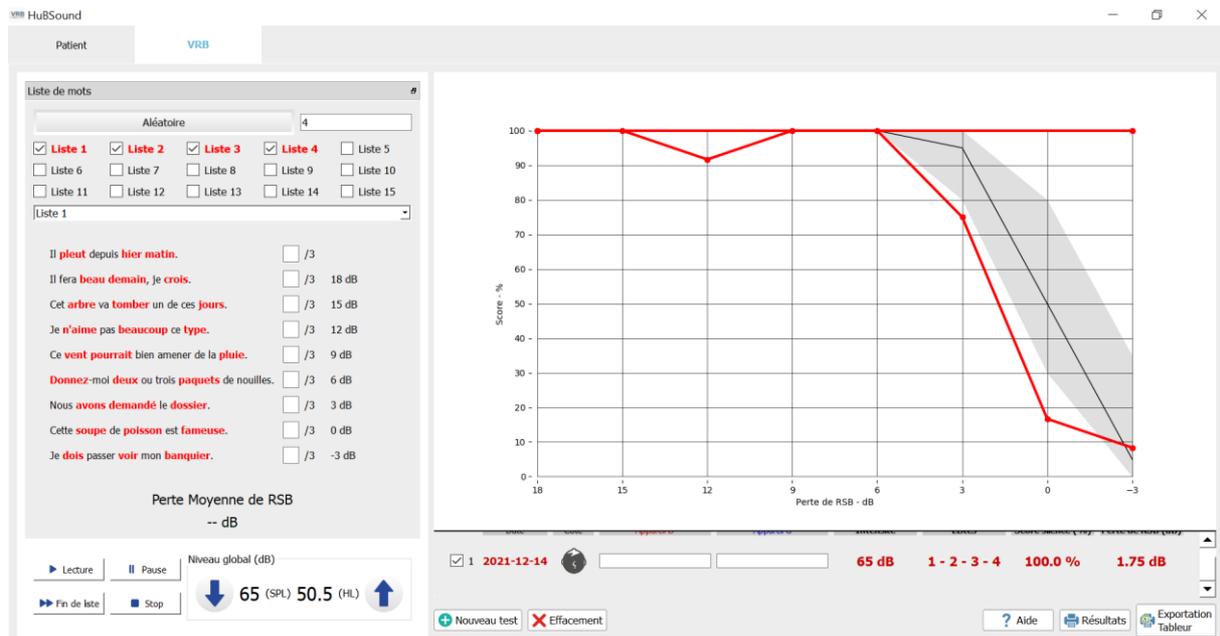


Figure 7 - capture d'écran du logiciel VRB

Le test est réalisé le plus souvent en champ libre via 5 haut-parleurs en écoute binaurale, oreilles nues. Le signal vocal est émis en face du patient et le bruit masquant diffus est émis par 5 haut-parleurs localisés à 0°, +60°, +120°, -60°, -120° autour de la tête du sujet, à une distance d'un mètre. Les phrases sont présentées à un niveau fixe de 65 dB SPL, avec un bruit masquant d'intensité variable pour obtenir des niveaux de Rapport Signal sur Bruit (RSB) allant de +18 dB-RSB à -3 dB-RSB par pas de 3 dB-RSB selon une procédure ascendante. Chaque liste débute par une phrase d'entraînement dans le silence puis par les 8 phrases dans le bruit. 4 listes minimum

sont diffusées par test pour obtenir une précision statistique de l'ordre de 1dB-RSB [96].

Pour chaque phrase, le nombre de mots-clés corrects est coté de 0/3 à 3/3, donnant un score sur 24 par liste. La perte de RSB est calculée par l'équation de Spearman-Kärber. Des normes ont précédemment été établies par tranches d'âge [97]. Ce test est commercialisé par Biotone Technologie sous le logiciel HubSound d'examens audiométriques en champ libre.

Comme nous l'évoquons plus haut, il existe actuellement une discussion sur le choix des professionnels habilités à prescrire un appareillage auditif. Les médecins généralistes bénéficient encore d'une dérogation les autorisant à prescrire un appareillage auditif aux personnes de plus de 6 ans. En effet, l'arrêté du 14 novembre 2018 prévoit la possibilité d'une prescription réalisée par les médecins généralistes s'ils sont formés à l'otologie dans la cadre du Développement Professionnel Continu, et réalisent une audiométrie. Le VRB 1.1 nous semble approprié dans cette situation, puisqu'il est simple et rapide à installer, ne nécessite qu'une unique calibration, est de manipulation intuitive et semble donner une information sur la perte auditive bien corrélée avec la surdité du patient et sa gêne, c'est ce que nous cherchons à démontrer ici.

8 Enjeux de la réhabilitation auditive chez le sujet âgé

8.1 Entrave à la généralisation de l'appareillage auditif chez le sujet âgé

L'appareillage auditif est une réhabilitation sensorielle complexe en comparaison par exemple à une correction visuelle pour un défaut de réfraction permettant de retrouver immédiatement une acuité visuelle parfaite. Un défaut de qualité sonore ou des difficultés de réglages peuvent parfois être évoquées par les patients, et nécessitent un investissement supplémentaire et une adaptation du patient pour tirer au mieux le bénéfice de son appareillage.

Les études observationnelles analysant l'impact du port d'un appareillage auditif chez les sujets presbycusiques retrouvent selon les pays et les tranches d'âge entre 30 et 50% de personnes appareillées parmi celles en indication, soit une faible proportion [98]. On peut émettre l'hypothèse que le coût de l'appareillage dans ces pays est un frein à l'achat. En France et aux États-Unis, les réformes actuellement en déploiement devraient permettre de limiter cet effet en augmentant l'accessibilité des prothèses auditives.

Un des principaux freins à l'acquisition d'un appareillage auditif chez les personnes âgées est aussi l'aspect ressenti comme stigmatisant de ce dispositif visible, rendant le handicap voyant [99]. On peut également retrouver des difficultés pour manipuler les appareils, qui nécessitent une préhension fine qui peut être gênée par de l'arthrose par exemple, ou des difficultés à faire usage des nouvelles technologies au quotidien.

Chez les sujets âgés, le succès d'un appareillage est meilleur (64%) quand la perte auditive est plus importante que pour une surdité débutante (30%) [100]. Il semblerait que des capacités de mémorisation résiduelles soient nécessaires pour tirer bénéfice

de son appareillage auditif, d'autant plus que l'ajout de traitement du signal nécessite une adaptation cognitive du sujet à ses aides auditives [101,102]. Il existe ainsi parfois un paradoxe chronologique entre le déclin auditif qui doit être suffisant pour une réhabilitation satisfaisante, et le déclin cognitif qui doit rester modéré pour que le sujet puisse s'accommoder au mieux à sa réhabilitation auditive [103]. La précocité idéale d'une prescription audioprothétique peut ainsi être difficile à déterminer, notamment chez les patients en limite d'appareillage. L'évaluation audiométrique dans le bruit nous paraît ici un atout pour mettre en évidence et quantifier objectivement le trouble du patient et augmenter son adhésion à l'appareillage.

On notera également que même une fois acquises, une partie des personnes appareillées ne portent pas leurs prothèses. Les raisons évoquées sont le défaut de bénéfice ressenti, l'inconfort occasionné, l'entretien et l'adaptation des appareils, l'attitude des professionnels de santé, des problèmes occasionnés par le port et l'apparence des appareils [104]. La motivation des sujets pour un appareillage est également un facteur important à évaluer ; il peut s'agir de motivation autonome (venant du sujet, en accord avec ses valeurs propres), ou de motivation contrôlée (issue de pression extérieure telle qu'une récompense ou une punition, ou de conflit interne tel qu'un conflit interne ou un sentiment de culpabilité), ces 2 types de motivations peuvent avoir un impact positif sur le port des appareils mais il est important de les identifier pour accompagner le sujet au mieux et favoriser l'adhésion à l'appareillage auditif [105]

8.2 Nouvelle offre de soin

Les critères actuels de prise en charge d'un appareillage auditif en France retiennent l'intérêt d'un appareillage pour des pertes auditives tonales supérieures à 30 dB de

façon isolée sur les fréquences supérieures à 2000Hz mais seulement en cas de dégradation conjointe de l'intelligibilité dans le silence ou dans le bruit [106].

Le développement de la nouvelle classification des aides auditives impose un socle technique minimal pour la classe I, offrant un remboursement complet.

Ce socle technique minimal impose un cahier des charges pour les 2 classes d'appareils avec pour la classe I, la nécessité de cocher au moins 3 critères parmi notamment : une amplification avec le minimum de distorsion harmonique qui restitue un son le plus naturel possible, une directivité microphonique automatique, un réducteur de bruit statique, un système anti-Larsen, au moins 2 programmes différents correspondant à un environnement calme et un environnement bruyant, un minimum d'étanchéité, un système de limitation des niveaux de sortie ;

À noter que les surdités les plus complexes à appareiller nécessitent une grande précision pour le réglage et donc des appareils auditifs possédant un grand nombre de canaux pour le traitement du signal. Les appareils de la classe I pourront parfois se montrer trop limités pour obtenir une réhabilitation optimale de ces surdités. De plus, ils ne bénéficient pas des technologies et algorithmes plus récents déjà implémentés dans les appareils de la classe 2 (directivité adaptative, système BiCROS/TRICROS, compression fréquentielle, connectivité Bluetooth ou bande passante élargie à plus de 10000Hz par exemple) permettant d'améliorer le confort et la compréhension des patients dans certaines situations d'écoute difficiles.

8.3 Intérêt de la réhabilitation auditive du sujet presbyacousique

De nombreuses études dans la littérature montrent un intérêt au moins à court terme du port d'un appareillage auditif pour réhabiliter une presbyacousie, la qualité de vie est par exemple globalement améliorée au bout de 3 mois ou plus d'appareillage

[107,108]. Par contre le lien avec les fonctions cognitives reste difficile à mettre en évidence. Quelques travaux sont encourageants sur le bénéfice potentiel. Le port des prothèse auditives améliore significativement les scores mesurant la mémoire à court terme et les capacités cognitives, cela maintient également le lien social et la stimulation cognitive des patients âgés [109].

Une étude transversale trouvait que les fonctions cognitives étaient moins bonnes chez les patients présentant une surdité lorsqu'elle n'était pas appareillée [110]. Il y aurait potentiellement un facteur protecteur au port d'un appareillage auditif vis-à-vis de l'apparition d'une démence [3]. Une étude prospective sur 25 ans retrouvait davantage d'apparition de démence chez les sujets se plaignant initialement subjectivement d'une perte auditive, sauf chez ceux étant appareillés [111]. Une étude américaine suivant une cohorte de plus de 2000 patients pendant 18 ans et réalisant un test auditif tous les 2 ans, trouvait que les capacités de rappel immédiates et retardées étaient moins dégradées chez les patients appareillés, avec ajustement sur d'autres facteurs de risque, il s'agissait d'un fort facteur protecteur vis-à-vis du déclin cognitif [112].

Une méta-analyse de 12 études retrouvait une franche majoration, au moins 2 fois plus importante, du risque de chute avec la perte auditive chez les sujets âgés, et celui-ci diminuait lors du port des appareils auditifs [113].

L'appareillage auditif et l'accès à l'appareillage auditif nous semblent constituer une problématique cruciale chez le sujet âgé presbycousique et il nous semble important de développer des outils pour faciliter leur mise en place pertinente en soins courants.

9 Objectif

L'objectif principal de cette thèse est de réaliser une évaluation préliminaire pilote du VRB à 1 haut-parleur dans l'indication d'un appareillage auditif chez le sujet presbycousique de plus de 60 ans.

L'objectif secondaire est la validation de notre protocole auprès d'un Comité de Protection des Personnes en vue d'une étude avec les effectifs nécessaires. Ce protocole est en cours de soumission pour obtenir sa validation et nous avons inclus sa version la plus récente en annexe.

L'objectif associé de ce travail est d'étudier la valeur diagnostique du test Vocal Rapide dans le Bruit à 1 haut-parleur (VRB 1.1) pour retenir une indication d'appareillage chez les sujets presbycousiques de plus de 60 ans, en recherchant sa sensibilité, sa spécificité, en déterminant le score seuil pour lequel il a la meilleure sensibilité et spécificité pour l'indication d'appareillage. Nous déduirons également les valeurs prédictives positives et négatives du test dans notre population, ainsi que les rapports de vraisemblance dans notre population.

Matériel et méthodes

1 Design de l'étude

Notre étude est une étude diagnostique multicentrique prospective pour évaluation du test Vocal Rapide dans le Bruit à 1 haut-parleur (VRB 1.1).

Nous le comparons avec le Gold Standard qui est l'audiométrie dans le silence. Nous étudions ses résultats dans la population de patients de plus de 60 ans. Notre groupe « malades » est constitué de patients de plus de 60 ans presbycousiques en indication d'appareillage auditif. Notre groupe « témoin » est constitué de sujets de plus de 60 ans normo entendants.

Cela nous permettra d'établir la sensibilité et la spécificité de ce test ainsi que de rechercher la valeur seuil permettant de retenir une indication d'appareillage.

1.1 Critères d'inclusion

- Homme ou femme volontaire
- Age supérieur ou égal à 60 ans
- Maîtrise courante de la langue Française
- Condition médicale spécifique : otoscopie normale
- Patient(e) en mesure de donner son consentement
- Patient(e) bénéficiaire de la Sécurité Sociale
- Communication possible oralement avec le/la patient(e) sans appareils (surdités moyennes à sévères au maximum)

Critères supplémentaires pour les sujets « malades » :

- Patients présentant une surdité perceptionnelle symétrique prédominante sur les fréquences aiguës en indication d'appareillage

- Seuil tonal moyen et seuil vocal strictement supérieur à 30dB HL

1.2 Critères d'exclusion

- Caractères démographiques : patient de moins de 60 ans, illettrisme

- Antécédent de chirurgie otologique (à l'exception de la pose d'aérateurs transtympaniques)

- Suivi pour une pathologie otologique authentifiée, responsable ou non d'une surdité,

- Patient déjà appareillé pour une presbyacousie

- État de santé ne permettant visiblement pas la compréhension des consignes pour la réalisation de l'audiogramme ou le remplissage des questionnaires (troubles cognitifs majeurs notamment)

- Raisons administratives : impossibilité de recevoir une information éclairée, impossibilité de participer à la totalité de l'étude, absence de couverture par le régime de sécurité sociale

- Visés aux articles L.1121-5 à L.1121-8 et L.1122-1-2 du code de la santé publique (majeurs protégés, personnes en situation d'urgence, incapables de donner leur consentement, etc.).

2 Patients et données

2.1 Critères retenus dans l'étude

2.1.1 Définition des sujets du groupe « témoins »

Les sujets témoins étaient recrutés s'ils avaient l'âge requis et n'avaient pas de plainte auditive. Notre questionnaire médical recherchait des antécédents otologiques

particuliers à but de filtrage pour éliminer rapidement des pathologies otologiques particulières. Le questionnaire HHIE-S permettait d'explorer la gêne auditive en détaillant des situations spécifiques du quotidien. L'otoscopie vérifiait l'absence d'anomalie tympanique ou de bouchon de cérumen.

L'audiométrie dans le silence était réalisée au casque en cabine insonorisée, sur des consoles d'audiométrie récemment calibrées. Les seuils pour les fréquences 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000Hz, 4000 Hz et 8000 Hz étaient mesurés. Le seuil tonal moyen (STM) était calculé par la moyenne des seuils pour les fréquences 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz et 4000 Hz. En accord avec les indications retenues par les autorités pour un appareillage [4], nous avons retenu comme critère d'appareillage les seuils auditifs dans le silence au casque, qui devaient être inférieurs à 30dB HL pour définir les témoins, n'étant donc pas en indication d'appareillage (**seuil tonal moyen strictement inférieur à 30dB HL et seuil d'intelligibilité strictement inférieur à 30 dB HL**). Leur conduction osseuse (CO) était similaire à la conduction aérienne (CA) (différence strictement inférieure à 10dB HL entre les deux). Leur seuil en audiométrie tonale était concordant au seuil en audiométrie vocale dans le silence en listes dissyllabiques de Fournier (différence strictement inférieure à 10dB HL).

2.1.2 Définition des sujets du groupe « malades »

De la même façon les sujets du groupe malades étaient recrutés s'ils avaient l'âge requis et remplissaient les critères d'inclusion. Les questionnaires étaient réalisés dans le même but.

En audiométrie au casque dans le silence, les mêmes critères de symétrie, de surdité purement perceptionnelle et de concordance tonale-vocale étaient retenus. Les sujets du groupe « malades » devaient avoir des seuils auditifs au casque dans le silence

supérieurs à 30 dB HL (**seuil tonal moyen supérieur à 30dB HL et seuil d'intelligibilité supérieur à 30 dB HL**).

2.2 Mode de recrutement

L'intervention développée dans notre étude relève du soin courant, les tests que nous développons sont réalisés en routine et sont d'une totale innocuité pour le patient. Nous avons recruté différemment le groupe « témoin » et le groupe « malade ».

2.2.1 Groupe « malades »

Concernant le groupe des malades, nous avons travaillé en étroite collaboration avec l'équipe d'audioprothésistes des Laboratoires d'Audiologie Renard, qui ont testé des patients respectant les critères d'inclusion dans le contexte d'un primo appareillage auditif. La participation à notre étude leur était alors proposée avec ses bénéfices (l'objectif de l'étude étant de permettre de faciliter l'accès à l'appareillage chez les patients de plus de 60 ans) et ses inconvénients (quelques minutes supplémentaires nécessaires pour la réalisation des tests). Les patients étaient libres de participer ou non, étant informés que cela ne modifierait pas leur relation avec l'investigateur. Il leur était également expliqué que leurs données étaient traitées de façon anonyme pour cette étude.

Si les patients donnaient leur consentement oral, les tests nécessaires à l'étude avaient lieu le jour même, au cours du bilan de routine réalisé par l'audioprothésiste en vue d'un appareillage auditif.

2.2.2 Groupe témoin

Pour cette étude pilote, les témoins ont été recrutés au sein du service d'otoneurologie, parmi les accompagnants de patients consultants dans le service et les proches de

l'investigatrice. L'étude était présentée avec son objectif et le bénéfice opportun pour la personne d'obtenir un dépistage auditif gratuit. Il était mis en avant le fait qu'en cas de découverte d'un déficit auditif, une prise en charge spécifique pourrait être proposée. Il n'existe pas actuellement de dispositif de dépistage auditif systématique chez le sujet de plus de 60 ans en France mais cela a pu être proposé par le passé par le gouvernement [114]. Les sujets témoins étaient informés que leurs données sont traitées anonymement.

2.3 Données

2.3.1 Données de bases

Pour chaque patient inclus les données recueillies étaient les suivantes :

- Âge
- Sexe
- Otoscopie réalisée à l'otoscope portatif, complétée par une otomicroscopie en cas de découverte d'un bouchon de cérumen pour permettre de libérer le conduit auditif externe
- Audiométrie tonale et vocale liminaire oreilles séparées au casque RadioEar type DD45 réalisée en cabine insonorisée sur une console d'audiométrie Interacoustics AC40
- Questionnaire HHIE-S
- Questionnaire médical otologique reprenant les items du protocole « go-no go » (annexe)

2.3.2 Test à l'étude réalisé : VRB 1.1

Le VRB 1.1 est réalisé en champ libre sur le haut-parleur fourni par le constructeur (Bose Home Speaker 300). Le logiciel était installé sur un ordinateur dédié à cette

étude sous Windows 10. Le haut-parleur était relié à l'ordinateur par une prise Jack et alimenté sur secteur. La calibration a été effectuée en amont par un informaticien des Laboratoires d'Audiologie Renard et un audioprothésiste diplômé d'Etat en contrôlant le rapport signal-sur bruit et l'intensité de sortie à l'aide d'un sonomètre Brüel & Kjaer type 2250.

La calibration a ensuite été validée en testant des sujets normoentendants de moins de 30 ans pour qui l'on devait retrouver une perte de RSB comprise entre -2 et +2dB RSB. Les phrases à 0dB RSB et -3dB RSB devaient en effet être difficilement audibles même pour un sujet normoentendant. Nous avons donc testé au préalable des sujets de moins de 30 ans dont l'audiométrie dans le silence était normale.

Pour la réalisation du VRB 1.1, je me suis installée dans une petite pièce aveugle dans le service de consultation d'otoneurologie sans insonorisation, habituellement utilisée ponctuellement pour la réalisation d'explorations fonctionnelles vestibulaires. Le haut-parleur était positionné à 1m20 de la personne testée (comme lors de la procédure de calibration), à hauteur de sa tête, le haut-parleur étant à une distance correcte des murs pour limiter les phénomènes de réverbération, le patient étant également assis à distance des murs.

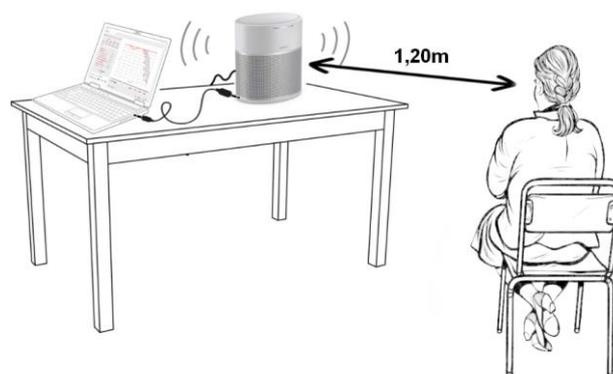


Figure 8 - Schéma de l'installation du VRB 1.1 et du sujet testé

Le test était expliqué de la façon suivante au patient : « Le test dure environ 4 minutes. Vous devez garder la tête fixe en face du haut-parleur. Une voix féminine va énoncer des phrases, vous devez à la fin de chaque phrase répéter le maximum de mots que vous avez compris. Le test augmente en difficulté au fur et à mesure car un bruit apparaît et augmente progressivement en intensité. Il est normal d'avoir beaucoup de difficultés à répéter les dernières phrases. » À la fin de la première série de phrases, je précisais que 3 nouvelles séries de phrases allaient recommencer de la même manière.

Pour obtenir une procédure plus homogène, nous avons utilisé les 4 premières listes du logiciel dans un ordre randomisé chez tous les patients et selon les recommandations d'usage de ce test.

Les données ont été recueillies de façon anonymisées sur le même ordinateur dédié à l'étude, entreposé dans le service d'otoneurologie du CHU de Lille.

3 Analyse de données

Nous étudions la valeur du VRB 1.1 dans l'indication d'appareillage auditif en recherchant : sa sensibilité, sa spécificité, en déterminant le score seuil pour lequel il a la meilleure sensibilité et spécificité pour l'indication d'appareillage. Nous déduirons également les valeurs prédictives positives et négatives du test dans notre population, ainsi que les rapports de vraisemblance dans notre population.

4 Analyse statistique

Les courbes ROC ont été établies grâce au logiciel easyROC en ligne basé sur le logiciel R, et libre de droit pour un usage de recherche [115]. Les analyses statistiques ont également été réalisées sur Excel.

5 Cadre réglementaire

5.1 Financement

La licence Hubsound sous Windows 10 et le haut-parleur dédié ont été prêtés par les Laboratoires d'Audiologie Renard le temps du recueil de données.

Cette étude a également été permise par leur contribution pour le recueil des données des patients en indication d'appareillage.

5.2 Validation du protocole de recherche

Un protocole de recherche (annexé) a été soumis en vue de l'obtention d'un agrément par un Comité de Protection des Personnes afin de mener cette étude à plus grande échelle avec les effectifs nécessaires.

5.3 Information et consentement

Les sujets testés recevaient une information orale sur le déroulement et l'objectif de l'étude, ils donnaient également un consentement oral au recueil des données nécessaires. Il était proposé aux sujets témoins d'obtenir un exemplaire de leur audiogramme à consigner dans leur dossier médical. En cas de découverte d'une surdité, une prise en charge spécialisée était proposée.

Résultats

1 Flowchart

Les sujets ont été recrutés du 15 novembre 2021 au 25 janvier 2022 dans le service de consultation d'otoneurologie du CHU de Lille et au sein des Laboratoires d'Audiologie Renard. Aucun patient n'a été exclu de l'analyse.

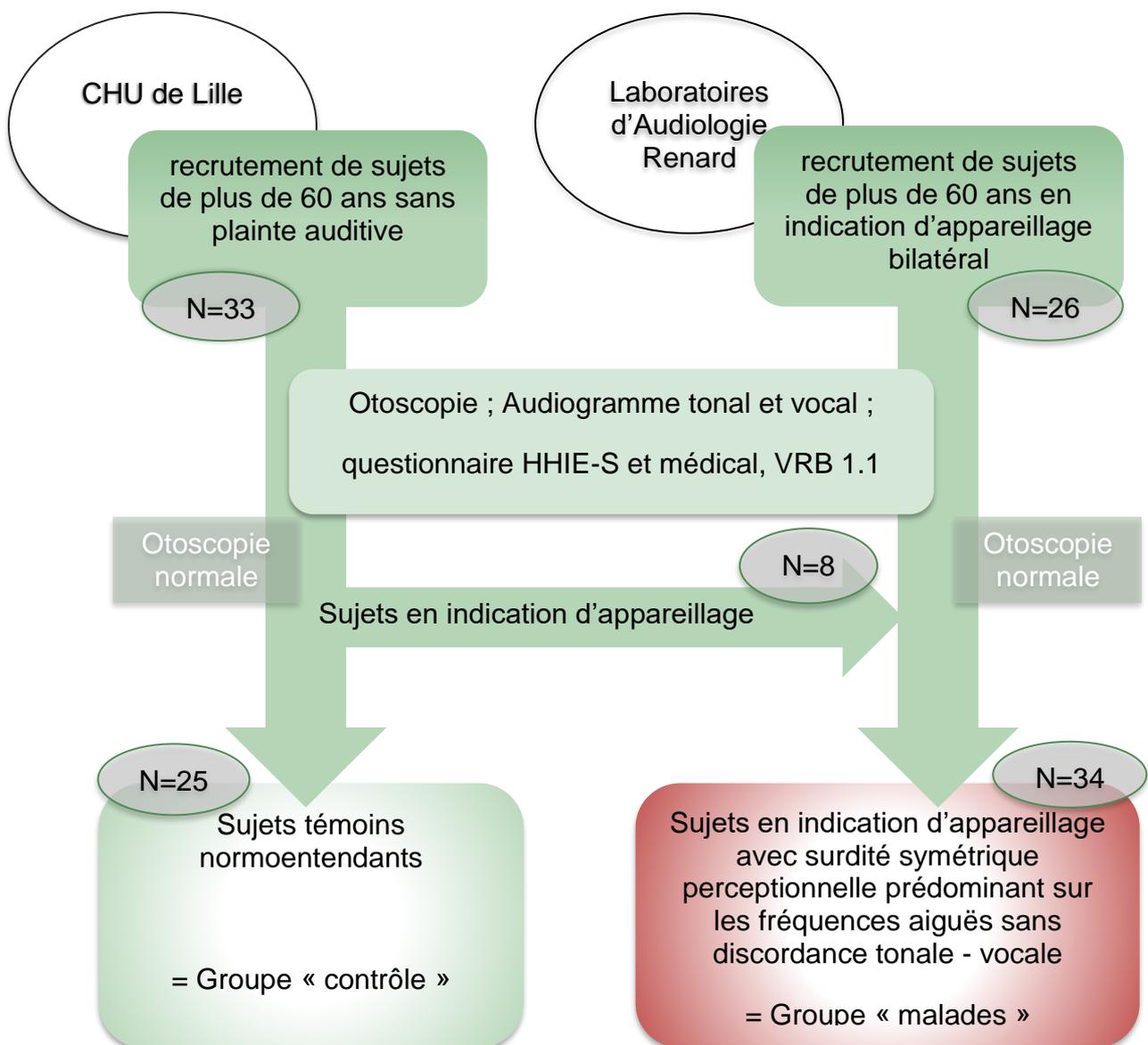


Figure 9 - Flowchart de l'étude

2 Description des patients à l'inclusion

Nous avons inclus 59 patients de plus de 60 ans dans cette étude, 25 (42,4%) étaient normo-entendants et 34 (57,6%) patients présentaient une surdité en indication d'appareillage. Dans le recrutement des sujets témoins, 8 patients se sont avérés être en indication d'appareillage et sont donc analysés dans le bras « malades ».

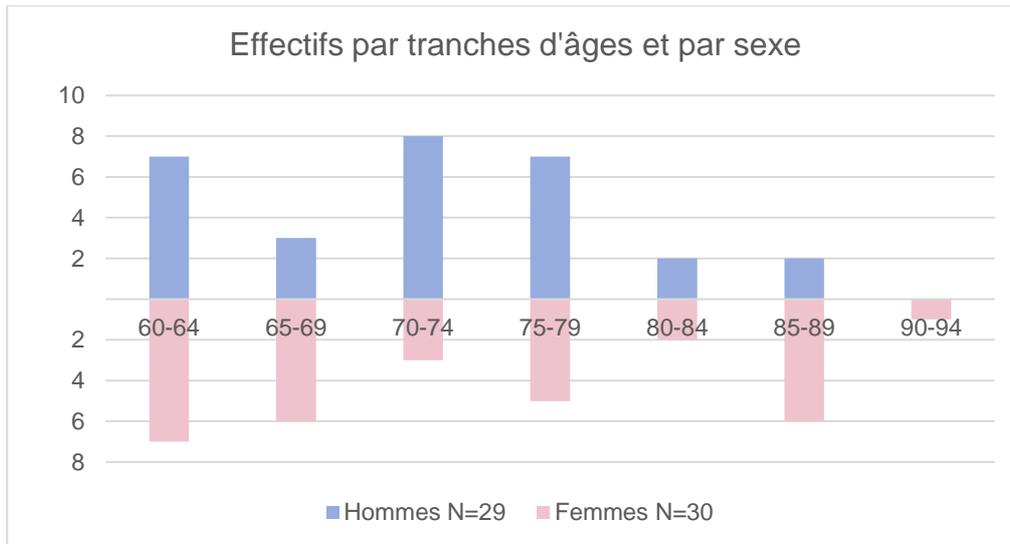


Figure 10 – Diagramme des effectifs par sexe et par tranches d'âges (années) dans notre échantillon

Nous avons recruté 29 hommes et 30 femmes entre 60 et 91 ans. L'âge moyen des participants était de 73 ans (DS=9). La tranche d'âge la plus représentée est la tranche d'âge 60-64 ans (N=14).

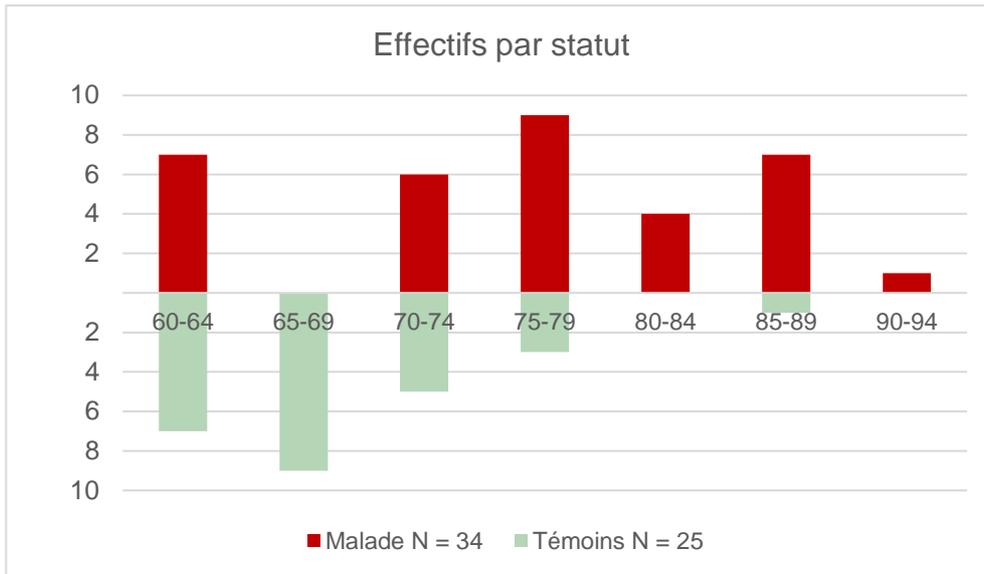


Figure 11 – Diagramme des effectifs de sujets normoentendants et en indication d'appareillage sur notre échantillon

Notre échantillon était déséquilibré en terme d'âge entre les témoins et les patients en indication d'appareillage : ces derniers étaient significativement plus âgés. L'âge médian chez les sujets en indication d'appareillage est de 77,5 ans (Q1-Q3 [70,75 ; 83,75]), l'âge médian des témoins est de 67 ans (Q1-Q3 [64 ; 67]).

3 Résultats aux tests réalisés

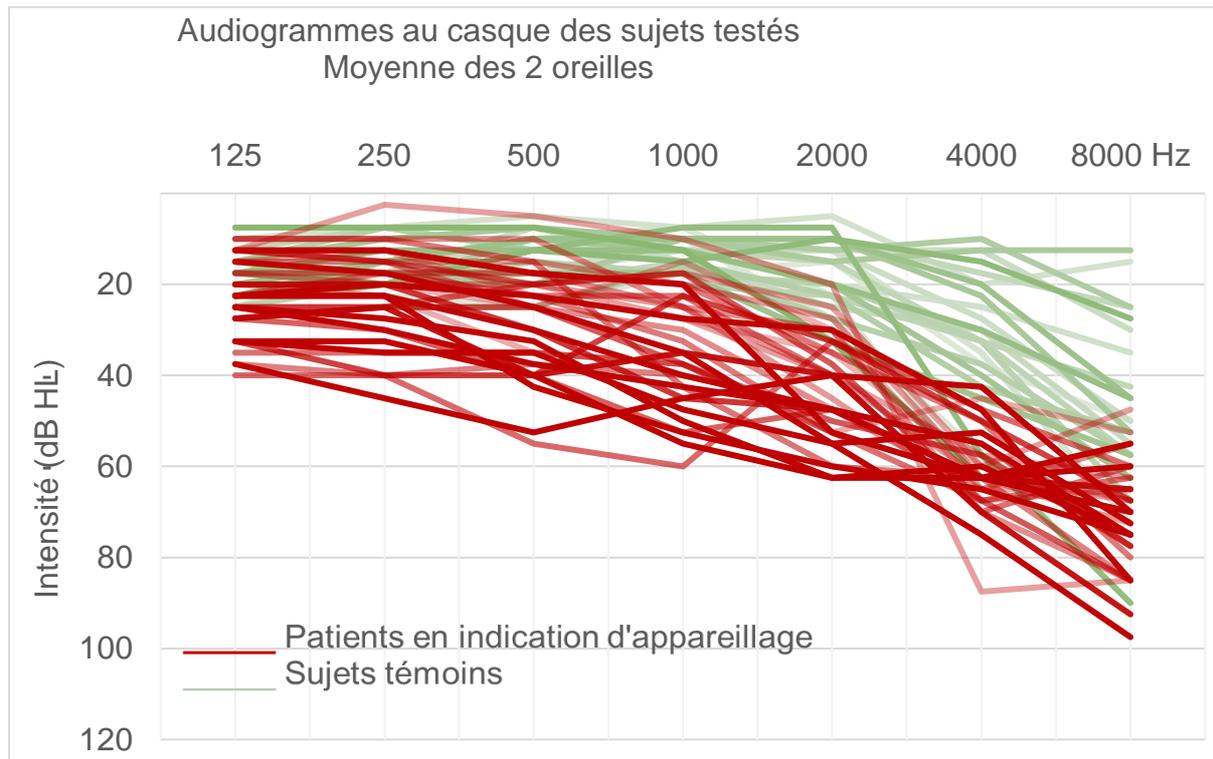


Figure 12 - Audiogrammes tonals des 59 patients inclus, moyenne des seuils des 2 oreilles en conduction aérienne au casque

Concernant l'audition dans le silence des sujets de notre échantillon, la moyenne des STM des sujets normoentendants était de 19,6 dB HL (SD=5,8), celle des sujets en indication d'appareillage était de 41,5 dB HL (SD=7,2).

La différence binaurale moyenne de STM en valeur absolue était de 4,25 dB HL sur notre échantillon (SD=3,9). Chez les sujets témoins, elle était de 2,9 dB HL (SD=2,6) et de 5,3 dB HL (SD=4,2) chez les sujets en indication d'appareillage.

Les données concernant le Rinne étaient parfois incomplètes, mais il était inférieur à 10dB sur au moins 3 fréquences pour tous les sujets inclus.

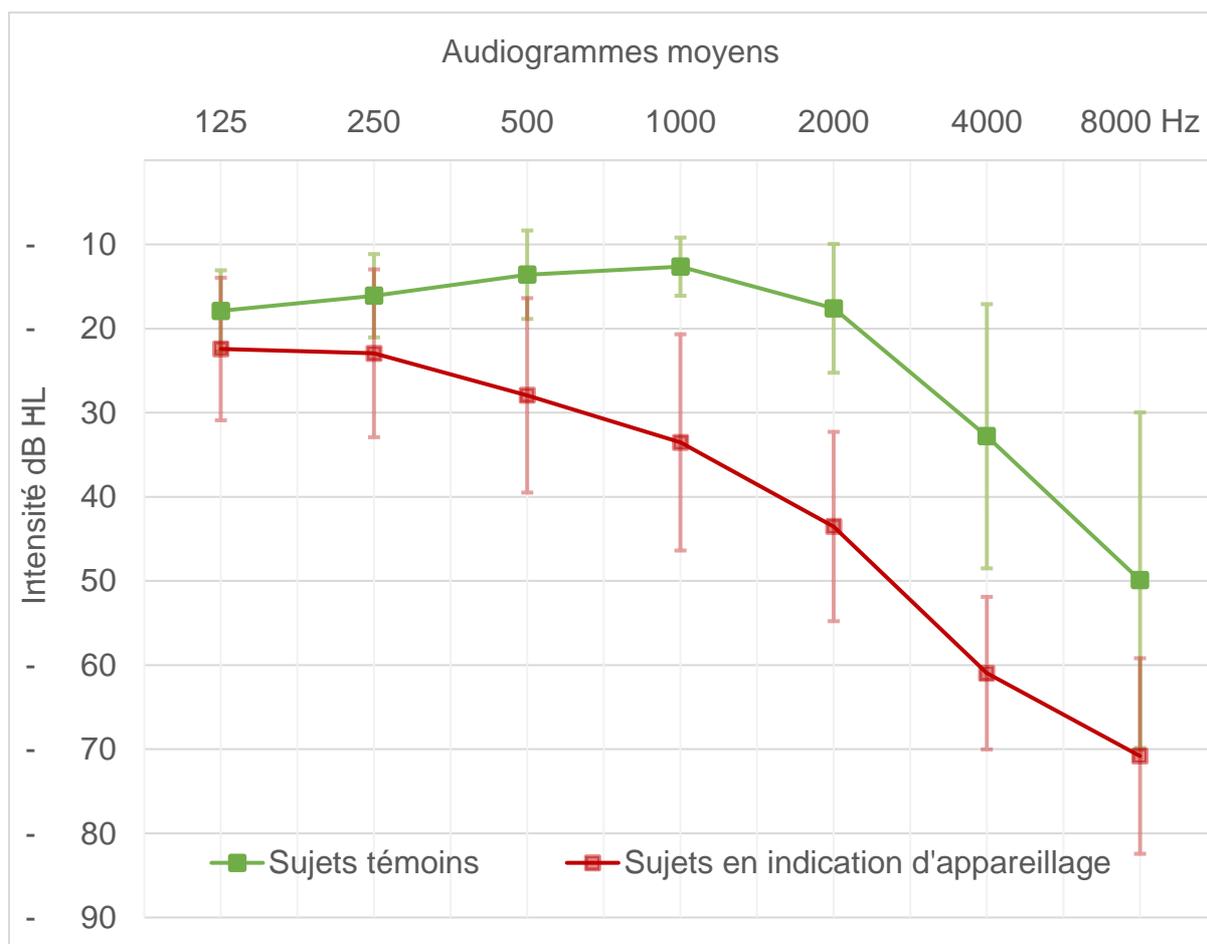


Figure 13 - Audiogrammes tonals moyens du groupe "témoin" et du groupe "malades". Les barres d'erreur correspondent aux écarts-types pour chaque point de la courbe

Concernant l'audition dans le silence des sujets de notre échantillon, la moyenne des STM des sujets témoins était de 19,6 dB HL (SD=5,8), celle des sujets en indication d'appareillage était de 41,5 dB HL (SD=7,2).

Le STM maximal dans le groupe « malades » était de 55 dB HL, notre critère d'une communication possible à voix normale à forte avec le sujet était ainsi concordant.

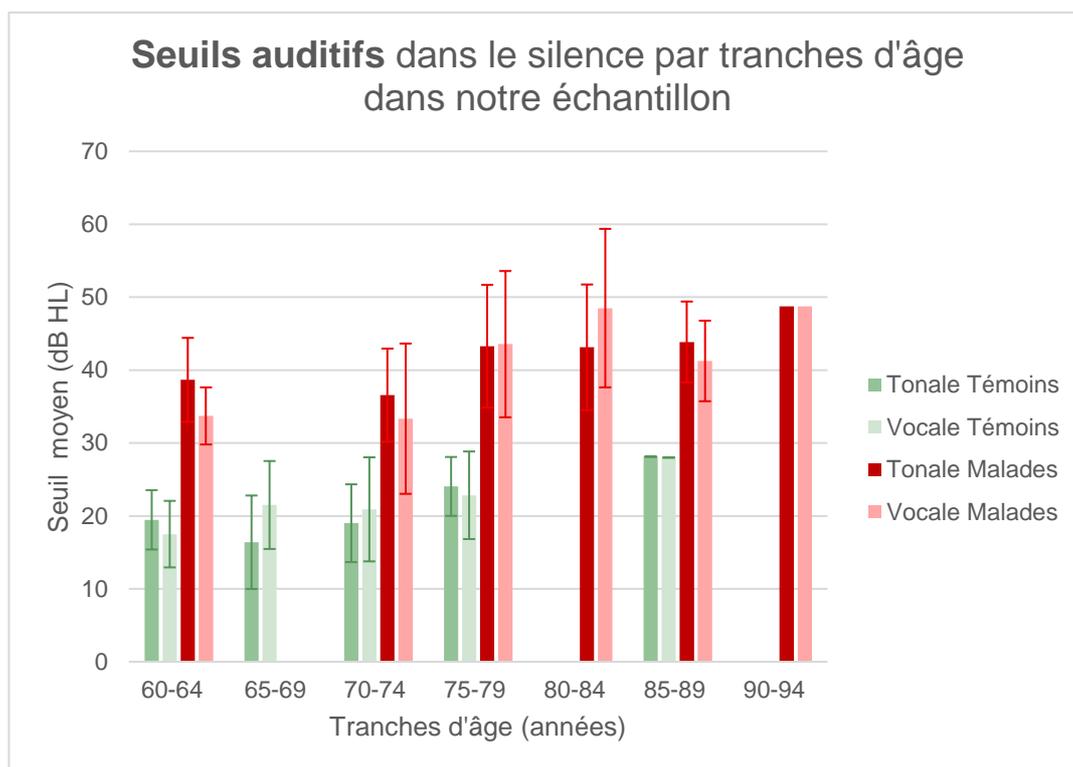


Figure 14 - Diagramme comparatif des seuils auditifs tonals et vocaux dans le silence dans le groupe "témoin" et le groupe "malade", par tranches d'âge

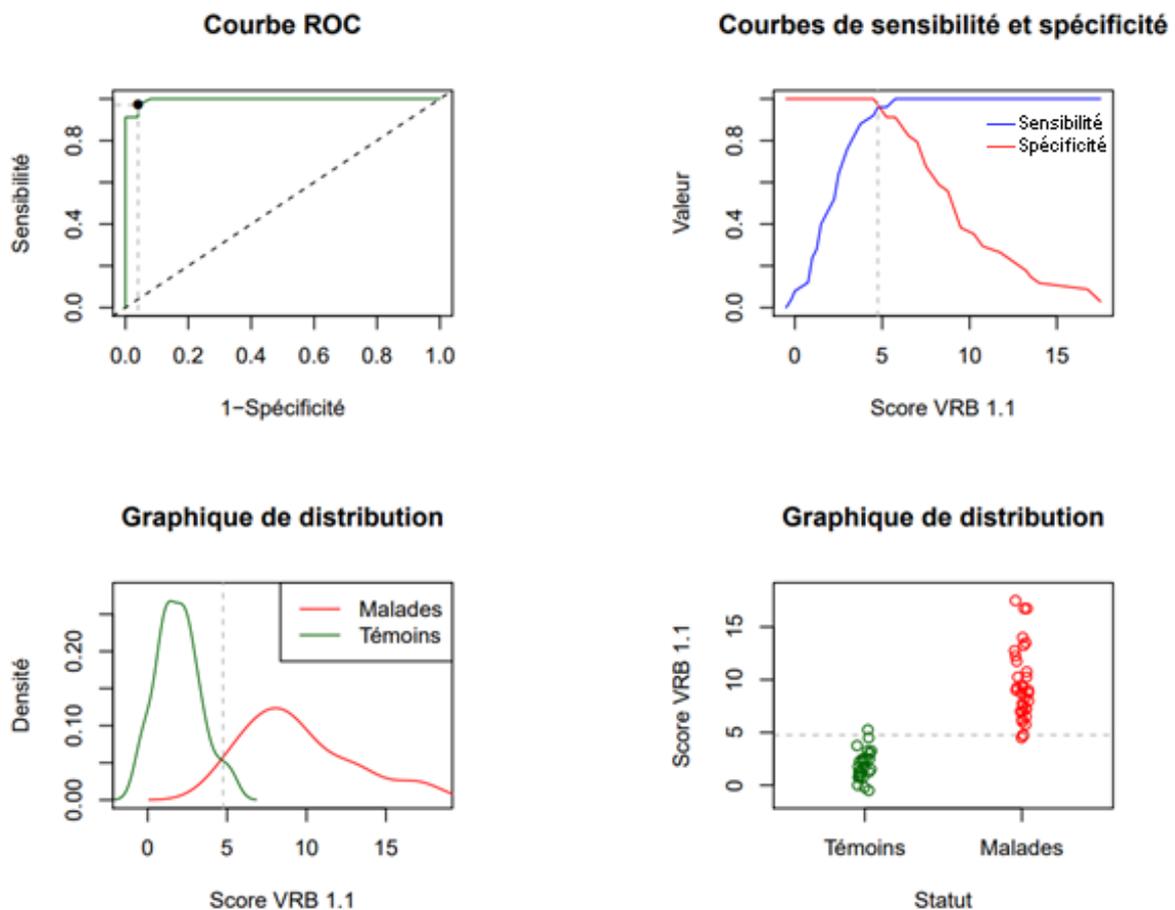
Concernant l'audiométrie vocale, la différence en valeur absolue du STM et du SRT dans notre échantillon était de 4,0 dB HL en moyenne (SD=3,8). Chez les sujets témoins elle était de 3,9 dB HL (SD=3,4), et de 4,0 dB HL (SD=3,9) chez les malades. Les sujets inclus n'avaient donc pas de discordance tonale-vocale.

Concernant le VRB 1.1, le score moyen était de 6,3 dB RSB (SD=4,7) dans notre échantillon. Celui des sujets témoins était de 1,9 dB RSB (SD=1,4) et de 8,5 dB RSB (SD =3,4) pour les sujets en indication d'appareillage.

Pour le score HHIE-S, le score moyen était de 12,4/40 points (SD=10,4) sur notre échantillon. Il était de 3,92/40 points (SD=4,4) chez les témoins et de 18,8/40 points (SD=9,1).

4 Analyse du test diagnostique

4.1 VRB 1.1 et indication d'appareillage



Nous avons établi les caractéristiques du VRB 1.1 en tant que test diagnostique pour retenir une indication d'appareillage, Ils sont représentés graphiquement ci-dessus (Figure 15). La courbe ROC représente la sensibilité en fonction de 1-spécificité : plus l'aire sous la courbe est proche de 1, plus le test est discriminant pour la pathologie étudiée. L'aire sous la courbe ROC est évaluée à 0,995. L'effectif théorique nécessaire pour obtenir une puissance statistique satisfaisante est de 97 sujets par groupe. L'indice de Youden maximal (spécificité + sensibilité – 1) était de 0,931 et permettait

d'identifier le score seuil de 4,75 dB RSB au VRB 1.1 pour l'indication d'appareillage auditif. Pour ce score, la spécificité était de 96,0 %, la sensibilité de 97,1 %.

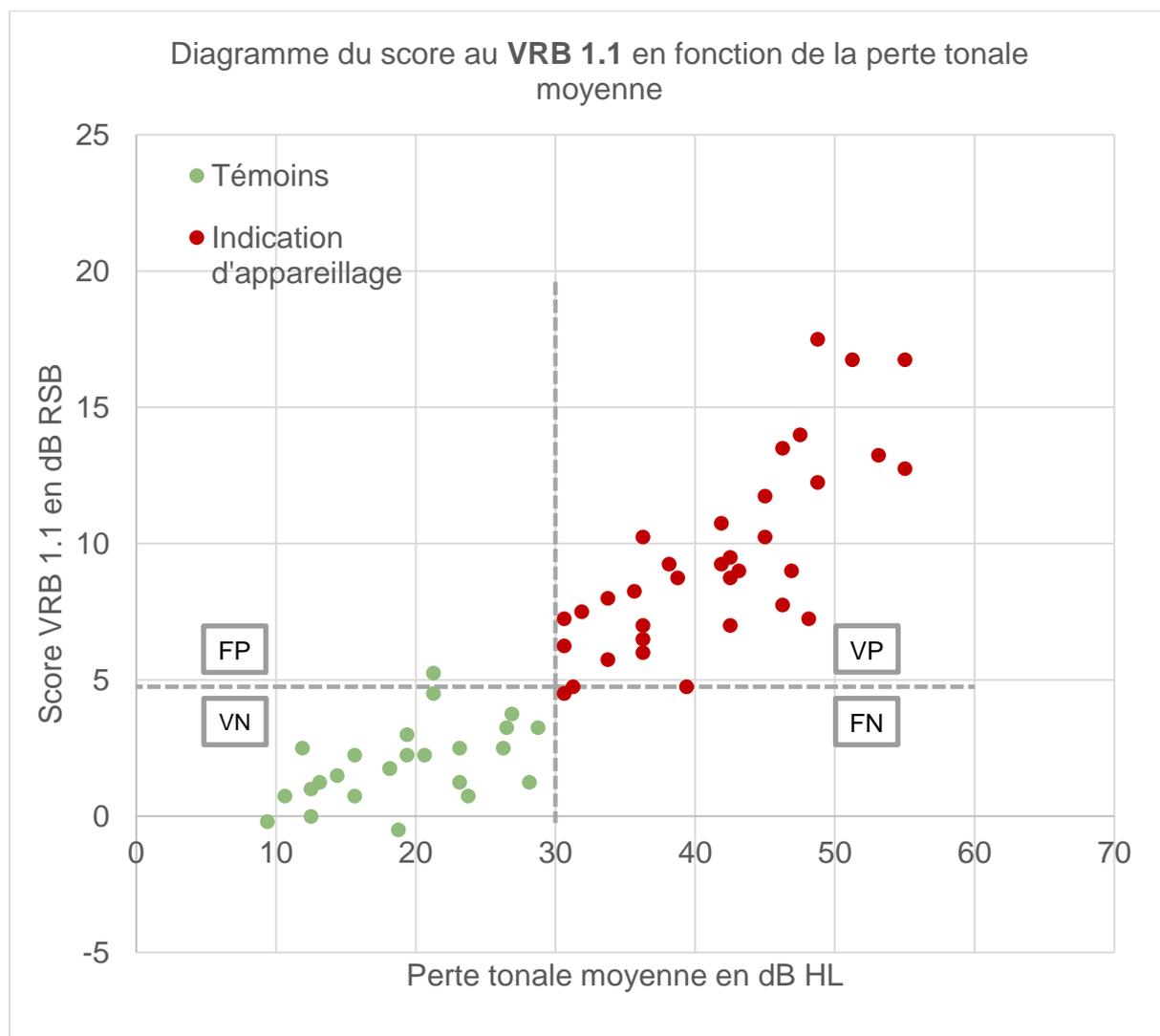


Figure 16 - **Diagramme représentant le score au VRB 1.1 en fonction du seuil tonal moyen.** Le repère vertical sépare les sujets témoins des sujets en indication d'appareillage, le repère horizontal marque le score seuil de 4,75 dB RSB au VRB 1.1, établi grâce à la courbe ROC du test. Le sujet du quadrant supérieur gauche est un faux positif (FP). Les sujets du quadrant inférieur gauche sont les vrais négatifs (VN). Les sujets du quadrant supérieur droit sont les vrais positifs (VP). Le sujet du quadrant inférieur droit est un faux négatif (FN).

Le nombre de vrais positifs (VP) est de 33, Le nombre de vrais négatifs (VN) est de 24, il y a 1 faux positif (FP) et 1 faux négatif (FN) (Figure 16). La valeur prédictive positive ($VP/(VP+FP)$) est de 97,0%. La valeur prédictive négative ($VN/(VN+FN)$) est de 96,0%.

Le rapport de vraisemblance positif (sensibilité / (1-spécificité)) est de 24,3. Le rapport de vraisemblance négatif ((1-sensibilité) / spécificité) est de 0,03. On retrouve ainsi une association élevée entre un test VRB 1.1 positif et la présence d'une presbyacousie.

Il existait par ailleurs une corrélation statistiquement significative et forte entre le score au VRB 1.1 et la perte tonale moyenne, de type linéaire et positive. Le coefficient de corrélation r de Pearson est de 0,905 ($p < 0,00001$).

4.2 Score HHIE-S et indication d'appareillage

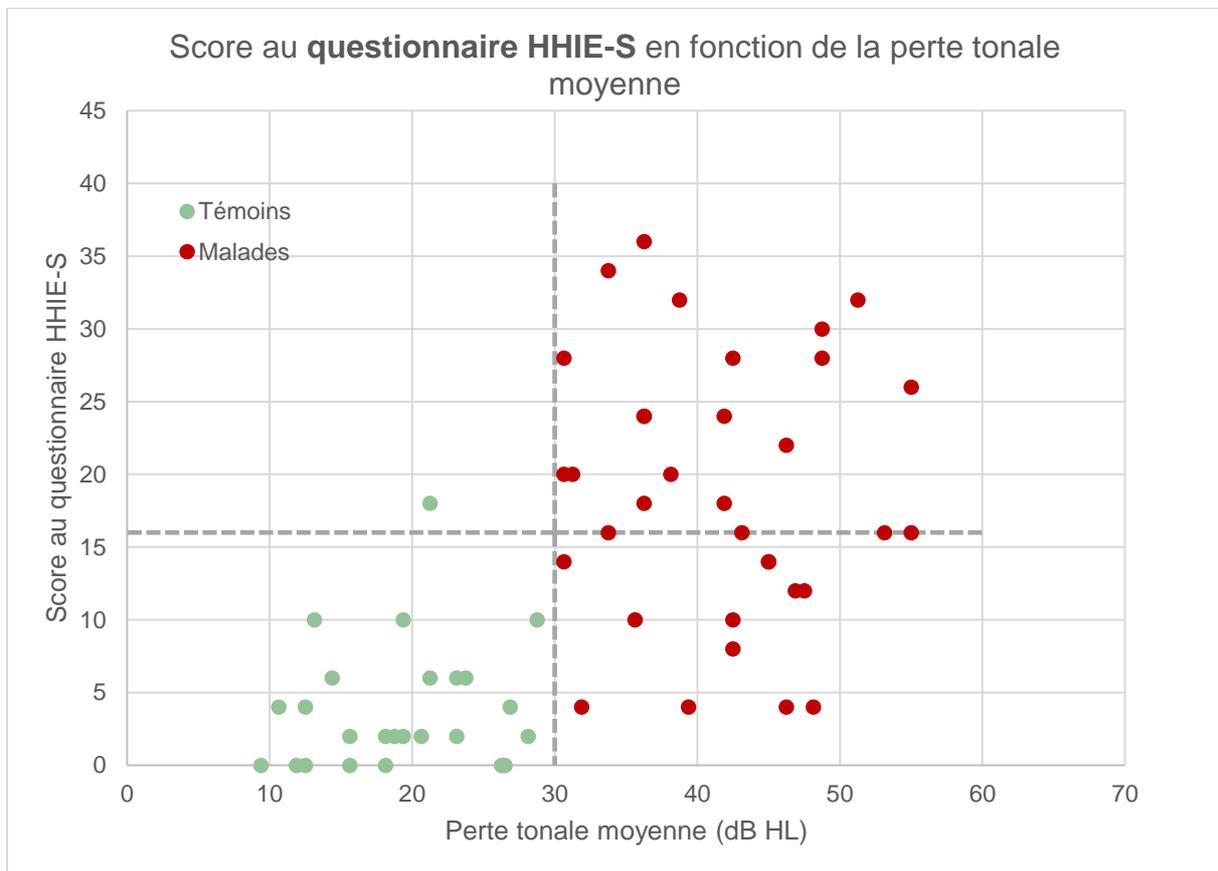


Figure 17 - **Diagramme** représentant le score au questionnaire HHIE-S en fonction de la perte tonale moyenne. Le repère horizontal marque le score de 16/40, correspondant au seuil pour une forte probabilité d'indication d'appareillage en usage de dépistage [91]. Le repère vertical sépare les témoins des sujets en indication d'appareillage.

Concernant le questionnaire HHIE-S, on note ici que tous les sujets en indication d'appareillage présentent un score non nul. Il rapportent donc une gêne dans au moins une des situations évoquées par le questionnaire. Ce score a été développé pour un usage de dépistage de surdité qui correspond partiellement à notre cadre d'étude. Dans ce contexte et sur ce petit échantillon, le score seuil retenu au HHIE-S pour une indication d'appareillage par la recherche de l'indice de Youden maximal sur la courbe ROC est de 12/40, avec une sensibilité de 79,4% et une spécificité de 96,4%, plus bas que le score limite de 16/40 sur l'échantillon où il a initialement été validé, mais dans des conditions différentes. Un score inférieur à 4/40 permet d'écarter avec certitude l'indication d'appareillage dans notre échantillon. Ce questionnaire a une valeur d'orientation très intéressante pour la surdité du sujet âgé, pouvant être rempli au domicile du patient sans empiéter sur le temps de consultation et déclencher des investigations complémentaires s'il s'avère positif.

On notera ici qu'une proportion non négligeable des sujets en indication d'appareillage (14,7%) ont un score inférieur à 8, habituellement suffisamment bas pour écarter une surdité, elle n'est que de 2,0% dans l'étude princeps du questionnaire HHIE-S en dépistage de la surdité [91]. Il s'agit ici de 5 sujets recrutés sur notre proposition dans le service d'otoneurologie, n'ayant donc préalablement aucune plainte et ne le rapportant donc pas dans le questionnaire. Notre mode de recrutement permet ainsi de mettre en évidence qu'une partie de la population de plus de 60 ans présente une surdité avec une indication théorique d'appareillage sans que cela ne leur occasionne une gêne. Nous avançons aussi que pour ces sujets, le VRB 1.1 comme l'audiométrie dans le silence permettent de mettre en évidence le déficit auditif et potentiellement de leur faire prendre conscience du bénéfice à obtenir d'un appareillage auditif.

4.3 Normes au VRB 1.1 dans notre échantillon

Notre calibration préalable chez les sujets normoentendants de moins de 30 ans s'effectuait sur un échantillon de 20 personnes, dont l'âge moyen était de 21,8 ans (DS=4,69), avec 55% de femmes. On retrouvait un score moyen de -0,14 dB RSB (DS=0,98) sur cet échantillon. Nous avons tracé le graphe de la norme qui est très proche de celui retrouvé pour le VRB 5.1 (Figure 18).

Tableau 1 - Normes au VRB 1.1 des sujets normoentendants de moins de 30 ans

Bruit	Silence	-18	-15	-12	-9	-6	-3	0	+3
Score (mots clés)	3	3	3	3	3	2,99	2,80	1,47	0,39
Écart type	0	0	0	0	0	0,06	0,26	0,56	0,42

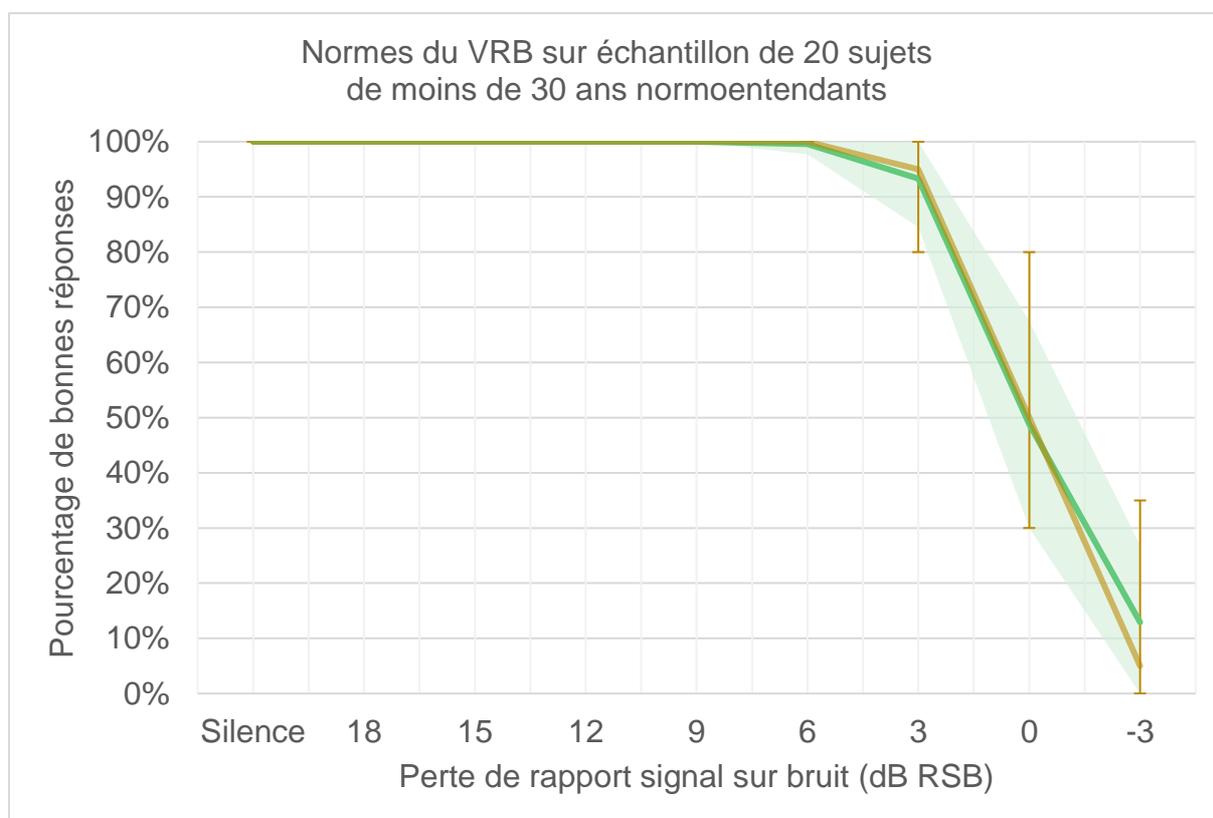


Figure 18 – Courbe représentant la norme du VRB 1.1 chez des sujets normoentendants. La courbe ocre représente la norme préétablie au VRB 5.1

Par ailleurs, nous nous sommes penchés plus spécifiquement sur les sujets sans indication d'appareillage pour proposer une norme pour les tranches d'âge 60-69 ans et 70-79 ans comprenant un nombre de sujets intéressant. Nous avons tracé les aires de normes au VRB 1.1 sur notre échantillon, en comparaison à celles proposées à l'écran du logiciel (Figure 19 et Figure 20). Les valeurs normatives du test VRB ayant été établies sur des sujets normo-entendants de moins de 30 ans [94], on constate un décalage des zones de performance des groupes « témoins » pour les 60 à 69 ans et 70 à 79 ans vers des valeurs de RSB plus positives et donc des conditions d'écoute plus favorables.

Dans la tranche d'âge 60-69 ans, le score moyen sur 16 patients au VRB 1.1 est de 1,6 dB RSB (DS=1,32). Dans la tranche d'âge 70-79 ans, comptant seulement 8 patients, on retrouve un score moyen de 2,7 dB RSB (DS=1,47).

On retrouve de façon surprenante dans les 2 groupes un léger décrochage inattendu de la courbe à -12 dB RSB. Cela correspond à un des mots de la liste 4 qui est fréquemment confondu : « Viens voir le tableau qu'il a peint » est répété par 4 patients dans notre groupe témoin comme « Viens voir le tableau qu'il a fait ». Il conviendrait peut être d'utiliser une autre liste dans le protocole définitif.

Tableau 2 - Normes au VRB 1.1 par RSB, sujets de 60 à 69 ans

Bruit	Silence	-18	-15	-12	-9	-6	-3	0	+3
Score (mots clés)	3	3	2,98	2,95	2,96	2,89	2,25	0,65	0,19
Écart type	0	0	0,03	0,09	0,06	0,12	0,79	0,62	0,23

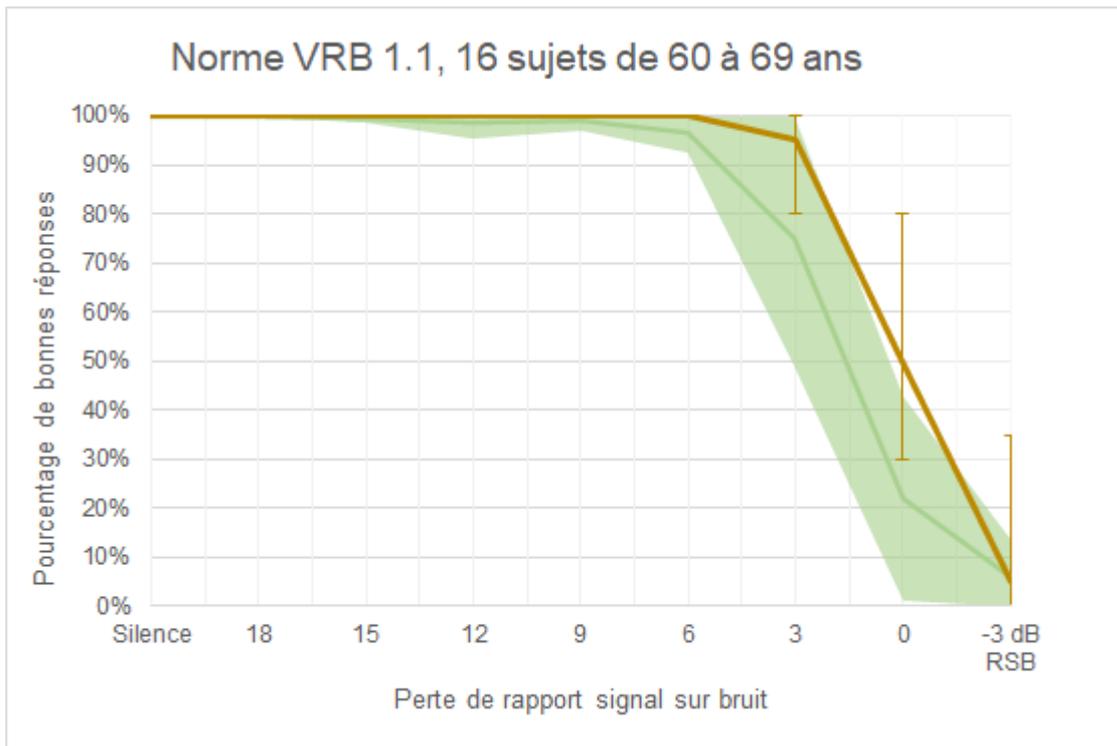


Figure 19 - Courbe représentant la norme du VRB 1.1, des sujets de 60 à 69 ans établie sur notre échantillon. La courbe ocre représente la norme avec les déviations standard du VRB 5.1.

Tableau 3 - Normes au VRB 1.1 par RSB, sujets de 70 à 79 ans

Bruit	Silence	-18	-15	-12	-9	-6	-3	0	+3
Score (mots clés)	3	3	3	2,84	2,97	2,66	1,81	0,41	0,13
Écart type	0	0	0	0,21	0,06	0,33	1,23	0,40	0,25

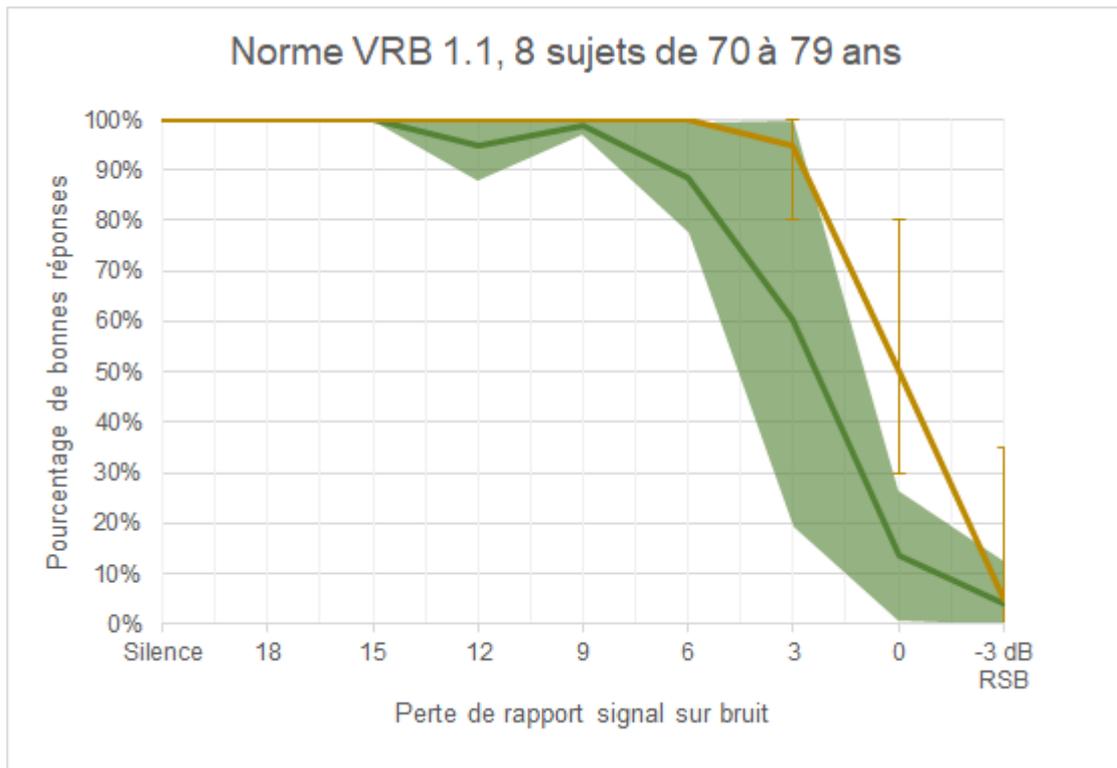


Figure 20 - Courbe représentant la norme du VRB 1.1, des sujets de 70 à 79 ans établie sur notre échantillon. La courbe ocre représente la norme avec les déviations standard du VRB 5.1.

Nous avons également représenté les résultats des sujets en indication d'appareillage par rapport aux sujets témoins par tranches d'âge, dans les graphes ci-après, (Figure 21). La différence graphique est nette, avec des difficultés apparaissant dès un faible rapport signal sur bruit chez les sujets en indication d'appareillage, alors que les capacités dans le silence sont conservées. Cela souligne une nouvelle fois l'intérêt de ce test dans l'évaluation fine de l'audition.

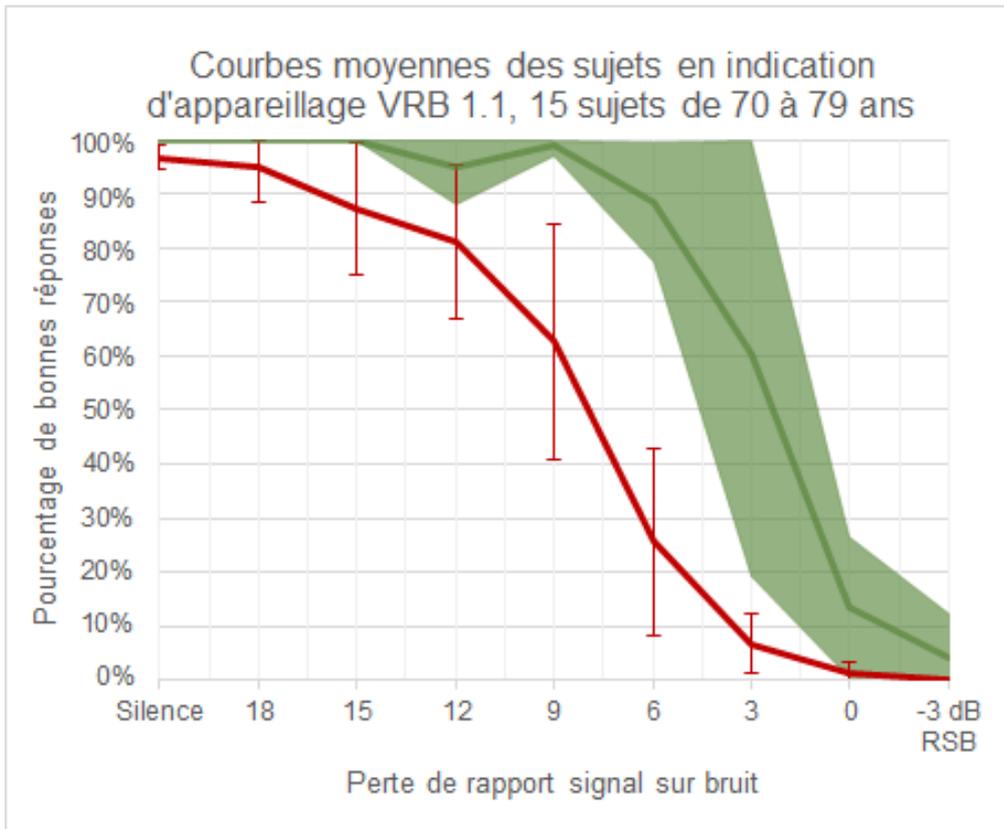
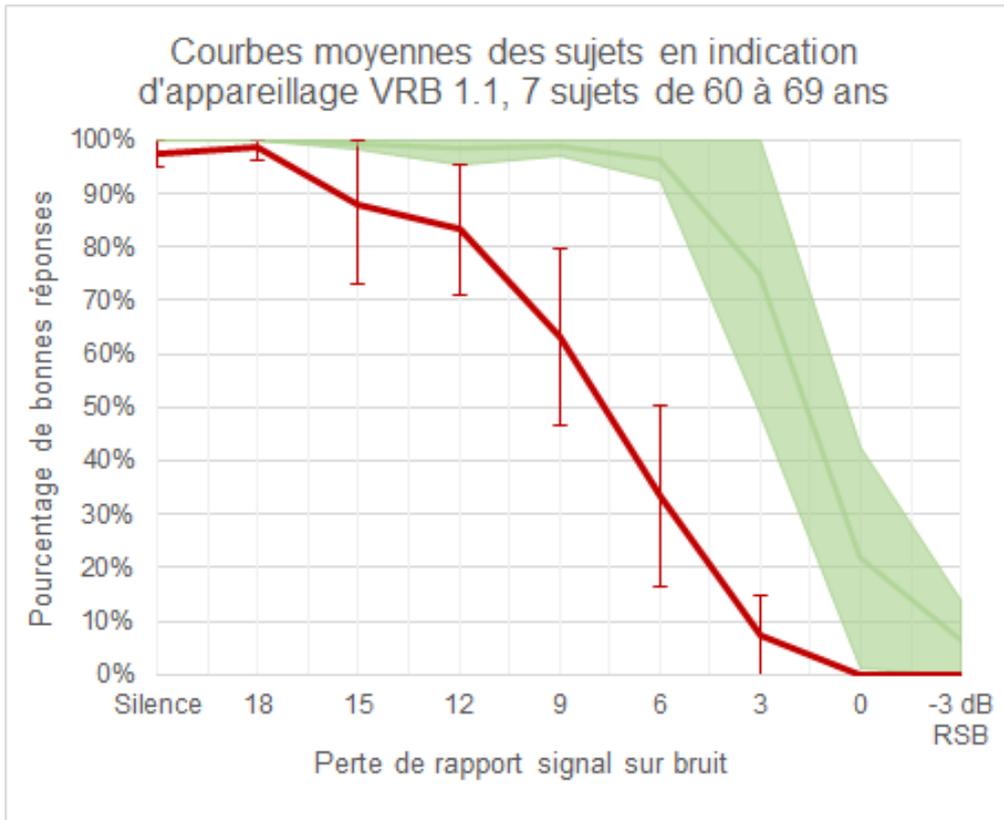


Figure 21 - Graphiques représentant les résultats par tranches d'âge au VRB 1.1 des témoins versus sujets malades

4.4 Aires sous la courbe du VRB 1.1

Nous avons comparé **les aires sous la courbe** (Tableau 4), des résultats au VRB 1.1, calculées par la méthode de la règle trapézoïdale, puisqu'il semblerait que cela puisse refléter plus sensiblement la perte de RSB en mettant aussi en évidence les défauts de réponse sur des rapports signal sur bruit plus faibles lors de la passation du test.

Tableau 4 - Aires sous la courbe au VRB par tranches d'âge

	Aire sous la courbe des témoins	DS	Aire sous la courbe des malades	DS
< 30 ans	54	3,4	NA	
Tous âges > 60 ans	47,3	5,5	22,2	3,1
60-69 ans	48,9	5,5	29,1	2,8
70-79 ans	45,8	5,6	28,1	3,1
80 ans et +	NA		9,4	3,3

- Chez les témoins de plus de 60 ans tous âges confondus, l'aire sous la courbe est évaluée à 47,3 (DS=5,5). Toujours concernant les témoins, dans la tranche d'âge 60-69 ans elle est de 48,9 (DS=5,5), et de 45,8 (DS=5,6) chez les 70-79 ans.
- Chez les sujets en indication d'appareillage tous âges confondus, elle est de 22,2 (DS=3,1). Pour la tranche d'âge 60-69 ans elle est de 29,1 (DS=2,8). Dans la tranche d'âge 70-79 ans elle est de 28,1 (DS=3,1), et elle est à 9,4 (DS=3,3), chez les sujets de plus de 80 ans.

Le calcul de l'aire sous la courbe par la règle trapézoïdale consiste à décomposer l'aire sous la courbe en trapèzes dont l'aire vaut $[(y_1 + y_2) \cdot (x_2 - x_1)]/2$ (Figure 22), puis à en faire la somme. Les résultats dans le silence sont exclus pour cette somme, comme pour le calcul habituel du score au VRB par la formule de Spearman Kärber. L'unité de l'aire sous la courbe est donc en $N \cdot \text{dB RSB}$ (N étant le nombre de réponses correctes).

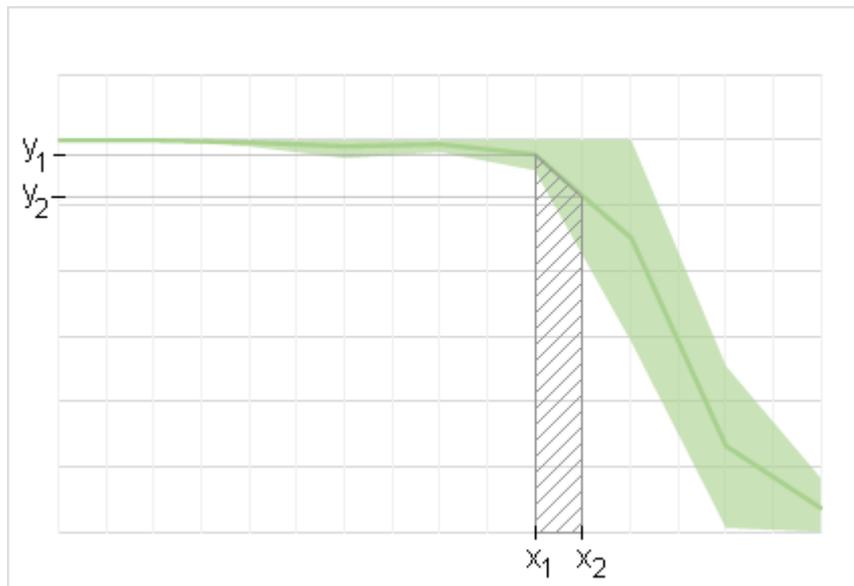


Figure 22 - Schéma du calcul de l'aire sous la courbe par la règle trapézoïdale. L'aire du trapèze de la zone hachurée vaut $[(y_1 + y_2) \cdot (x_2 - x_1)]/2$

Discussion

1 Principaux résultats

Notre échantillon permet de retenir provisoirement le seuil de 4,75dB RSB par la méthode de la recherche de l'indice de Youden maximal sur la courbe ROC au VRB 1.1 pour une indication d'appareillage chez les sujets de plus de 60 ans présentant une presbyacousie. La corrélation entre le score au VRB 1.1 et la perte tonale moyenne était par ailleurs forte et statistiquement significative ($r=0,906$, $p<0,00001$).

2 Discussion des résultats

Dans notre échantillon, les scores moyens retrouvés dans les groupes témoins sont de 1,6 dB RSB (DS=1,32) dans la tranche d'âge 60-69 ans, sur 16 patients, et de 2,7 dB RSB (DS=1,47) dans la tranche d'âge 70-79 ans, sur 8 sujets. On retrouve une baisse du score avec l'âge cohérente avec les résultats antérieurs. Dans l'étude de normalité par tranches d'âges, concernant le VRB 5.1, la perte de RSB moyenne était de 3,79 dB RSB (DS=1,24) dans le groupe 60-70 ans et dans le groupe 70 et plus elle était de 6,84 (DS=1,83) [97]. Cela est potentiellement dû à l'effectif moindre de notre échantillon ou au mode de passation sur 5 haut-parleurs au lieu de 1.

Nous avons par ailleurs recruté un échantillon avec une homogénéité relative des âges puisque les sujets témoins étaient significativement plus jeunes que les sujets du groupe « malades », induisant un biais de sélection. En effet on obtient ainsi théoriquement une sévérité plus importante de la surdité liée à l'âge dans le groupe des sujets en indication d'appareillage, facilitant potentiellement la mise en évidence d'une différence entre les 2 groupes. On peut ajouter qu'avec l'âge, d'autres difficultés

que l'audition peuvent induire un score plus bas au VRB (surdité centrale, troubles cognitifs débutants avec déficit attentionnel). On remarque néanmoins que la moyenne des STM des sujets normoentendants était de 19,6 dB HL (SD=5,8), tandis que celle des sujets en indication d'appareillage était de 41,5 dB HL (SD=7,2), correspondant tout juste à une surdité moyenne du premier groupe. Indépendamment de l'âge, la surdité du groupe malade restait donc modérée, permettant une bonne audibilité du VRB à 65dB SPL, et démontrant des capacités de discrimination importantes du VRB 1.1 comme test diagnostique même devant une faible variation du STM autour du seuil d'appareillage. De plus, il n'y avait pas de discordance tonale-vocale en faveur d'une surdité centrale chez nos patients en indication d'appareillage.

3 Discussion de la méthode

3.1 Mode de passation du VRB

Du point de vue acoustique, le VRB 1.1 utilisant un seul haut-parleur ne permet pas de créer la sensation de « bruit diffus » comme la version à 5 haut-parleurs, puisque la restitution de cet effet necessiterait au moins 4 haut-parleurs [116]. En effet pour être écologique et donc proche de la réalité, il paraît intuitivement nécessaire « d'entourer » le sujet avec des bruits divers pour reproduire sa g ne dans les situations bruyantes du quotidien.

La mise en jeu des mécanismes de localisation spatiale et d'analyse des scènes auditives intervient probablement lors des situations de la vie courante où le sujet ressent une gêne auditive dans le bruit. On peut faire l'hypothèse que la multiplicité spatiale des sources sonores perturbantes dans une situation bruyante du quotidien constitue un signal acoustique complexe à traiter, pouvant exploiter davantage les

fibres nerveuses auditives pour extraire le signal d'intérêt par rapport au bruit en comparaison avec notre test mélangeant les deux sur une seule source sonore.

On remarquera toutefois qu'une gêne fréquente des patients presbycousiques concerne les difficultés de compréhension de la télévision (cela fait partie des items du questionnaire HHIE-S), qui correspond souvent à une source sonore unique diffusant à la fois du bruit et de la parole.

Les recommandations récentes de la Société Française d'Audiologie pour l'audiométrie dans le bruit retiennent pour le champ libre qu'il est préférable de s'équiper d'au moins 5 haut-parleurs pour limiter les phénomènes d'interférence acoustique [92]. Ceux-ci sont néanmoins limités lorsqu'on utilise du signal vocal, notamment en bruit masquant.

Il nous paraîtrait pertinent pour trancher sur cette question, d'étudier la différence de résultats au VRB 1.1 par rapport à sa version VRB 5.1. Nous le proposons ainsi dans notre protocole d'étude en cours de validation pour l'obtention de l'autorisation d'un CPP. Le principe serait de faire passer le VRB 1.1 et le VRB 5.1 aux patients inclus, l'ordre de réalisation ainsi que le choix des listes étant randomisés pour lisser l'effet d'entraînement et les différences possibles entre les listes.

3.2 Mode de recrutement

Nous avons choisi de recruter sur 2 sites différents nos sujets témoins et nos sujets malades pour optimiser les possibilités de recrutement. Il nous semblait en effet très opportun de tester les sujets en indication d'appareillage au moment où ceux-ci se présentaient pour l'acquisition de leur appareil, le bilan audiométrique requis pour l'étude ne rajoutant que quelques étapes à celui réalisé habituellement par l'audioprothésiste.

Le recrutement des sujets témoins était réalisé par un médecin, cela permettait de les mettre en confiance vis-à-vis des résultats potentiels et de proposer immédiatement une prise en charge adaptée si besoin. Par ailleurs notre mode de recrutement « opportuniste » d'accompagnants de patients en consultation permettait d'inclure des sujets sans plainte auditive qui n'auraient peut-être pas répondu positivement à une annonce leur proposant de se déplacer pour tester leur audition, et ainsi de maximiser les chances de recruter des sujets normo-entendants. Malgré cette méthode, nous obtenions tout de même 8 patients sur 25 (32%) qui s'avéraient en indication d'appareillage.

Cette façon de faire impacte potentiellement la validité interne de notre étude puisque les différents tests n'ont pas été réalisés strictement dans les mêmes conditions chez les sujets témoins et les sujets malades. Néanmoins nous avons essayé d'obtenir des pratiques homogènes sur les différents centres pour limiter ce biais. La calibration du VRB 1.1 a été réalisée par la même personne pour le service et sur tous les laboratoires participants (Maubeuge, Hénin-Beaumont, Tourcoing et Marcq-en-Barœul), et l'installation respectait les mêmes critères aux différents points de réalisation. Concernant l'audiométrie au casque dans le silence, les cabines avaient bénéficié d'une calibration récente.

4 Perspectives / significativité clinique

4.1 Perspectives attendues de nos résultats

Les objectifs de santé publique actuels visent à élargir les possibilités d'accès à l'appareillage auditif notamment des sujets de plus de 60 ans grâce au 100% santé. L'outil que nous avons étudié ici nous semble prometteur de par son utilisation rapide et intuitive tout en ayant très probablement une bonne capacité de discrimination pour

déterminer si un sujet est en indication d'appareillage ou non. Notre étude sur un échantillon statistiquement insuffisant retrouve une corrélation forte entre le résultat au VRB 1.1 et l'indication d'appareillage auditif. Il s'agit d'un résultat encourageant pour pouvoir permettre d'utiliser ce test à plus grande échelle dans le but de mettre en évidence la nécessité d'une réhabilitation auditive.

La simplification du processus de prescription d'un appareillage auditif, exempt d'une mesure oreilles séparées et reposant uniquement sur une mesure binaurale de l'audition, aurait potentiellement pour revers d'amoindrir la possibilité de diagnostic différentiel. Ceci pourrait réduire l'opportunité de dépister d'autres pathologies plus rares que la presbyacousie. Une étude s'intéressant à cette problématique permettrait de proposer un parcours de soin simplifié en créant un algorithme décisionnel, où le recours à un spécialiste est proposé à bon escient, tout en garantissant une sécurité maximale pour le patient.

Le rôle de l'audioprothésiste grâce à son expertise en audiologie est une donnée importante qui doit être parfaitement définie et encadrée. Outre l'appareillage et la réhabilitation auditive des patients, il pourrait par exemple aiguiller la prescription des médecins généralistes en la complétant par une série de tests pré-appareillages qui serviraient à réorienter le patient vers un spécialiste en cas de suspicion d'une pathologie particulière.

Il nous semble ainsi très intéressant de poursuivre cette étude à plus grande échelle. Il nous semblerait pertinent d'étudier également sur une période tous les sujets de plus de 60 ans se présentant chez l'audioprothésiste pour un primo appareillage et de rechercher par notre questionnaire médical si d'autres étiologies qu'une presbyacousie simple peuvent ainsi être évoquées et d'étudier leur fréquence.

Conclusion

Notre étude sur 59 sujets permet de retenir provisoirement le seuil de 4,75 dB RSB au VRB 1.1 grâce à l'établissement de la courbe ROC pour proposer un appareillage à des sujets de plus de 60 ans présentant une perte auditive symétrique liée à l'âge. Il existe une corrélation forte entre la perte auditive dans le silence et le score au VRB 1.1 sur notre échantillon.

Il nous paraît important de poursuivre notre étude à plus grande échelle pour pouvoir valider le VRB 1.1 pour l'indication d'appareillage auditif chez les patients presbyacousiques.

Liste des figures

Figure 1 : Schéma de l'anatomie du système auditif. RV : Rampe vestibulaire, MR = Membrane de Reissner, CC : Canal cochléaire, RT : Rampe tympanique.....	11
Figure 2 - Schéma de la décomposition temporelle du signal vocal d'après Somashekara et al. [19].....	13
Figure 3 - Image de microscopie confocale d'une coupe en pleine épaisseur de la lame osseuse spirale d'un sujet presbyacousique (A) : dans la zone de 1000Hz (B) : Dans la zone de 8000Hz.....	16
Figure 4 - Schéma de l'innervation des cellules ciliées dans la cochlée. La synapse est une structure clé dont la dégradation serait au centre des problématiques de discrimination dans le bruit. D'après Liberman et al. [30]	17
Figure 5 - schéma des voies centrales impliquées dans les troubles auditifs centraux.	20
Figure 6 : Seuils moyens en conduction aérienne en dB HL par âge et par sexe chez des sujets otologiquement normaux : (A) Hommes, (B) Femmes.	23
Figure 7 - capture d'écran du logiciel VRB	34
Figure 8 - Schéma de l'installation du VRB 1.1	46
Figure 9 - Flowchart de l'étude	49
Figure 10 – Diagramme des effectifs par sexe et par tranches d'âges (années) dans notre échantillon	50
Figure 11 – Diagramme des effectifs de sujets normoentendants et en indication d'appareillage sur notre échantillon	51
Figure 12 - Audiogrammes tonals des 59 patients inclus, moyenne des seuils des 2 oreilles en conduction aérienne au casque.....	52
Figure 13 - Audiogrammes tonals moyens du groupe "témoin" et du groupe "malades".	53
Figure 14 - Diagramme comparatif des seuils auditifs tonals et vocaux dans le silence dans le groupe "témoin" et le groupe "malade", par tranches d'âge	54
Figure 15 - Caractéristiques du test VRB 1.1 pour le diagnostic d'indication d'appareillage	55

Figure 16 - Diagramme représentant le score au VRB 1.1 en fonction du seuil tonal moyen.....	56
Figure 17 - Diagramme représentant le score au questionnaire HHIE-S en fonction de la perte tonale moyenne..	57
Tableau 1 - Normes au VRB 1.1 des sujets normoentendants de moins de 30 ans.	59
Figure 18 – Courbe représentant la norme du VRB 1.1 chez des sujets normoentendants.....	59
Tableau 2 - Normes au VRB 1.1 par RSB, sujets de 60 à 69 ans	60
Figure 19 - Courbe représentant la norme du VRB 1.1, des sujets de 60 à 69 ans établie sur notre échantillon.....	61
Tableau 3 - Normes au VRB 1.1 par RSB, sujets de 70 à 79 ans	61
Figure 20 - Courbe représentant la norme du VRB 1.1, des sujets de 70 à 79 ans établie sur notre échantillon.....	62
Figure 21 - Graphiques représentant les résultats par tranches d'âge au VRB 1.1 des témoins versus sujets malades.....	63
Tableau 4 - Aires sous la courbe au VRB par tranches d'âge	64
Figure 22 - Schéma du calcul de l'aire sous la courbe par la règle trapézoïdale.....	65

Références

- [1] Population par âge – Tableaux de l'économie française | Insee n.d. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4277619?sommaire=4318291>.
- [2] Bouccara D, Ferrary E, Mosnier I, Bozorg Grayeli A, Sterkers O. Presbyacousie. EMC - Oto-Rhino-Laryngol 2005;2:329–42. <https://doi.org/10.1016/j.emcorl.2005.09.004>.
- [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. Lancet Lond Engl 2020;396:413–46. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30367-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30367-6).
- [4] Arrêté du 14 novembre 2018 portant modification des modalités de prise en charge des aides auditives et prestations associées au chapitre 3 du titre II de la liste des produits et prestations prévue à l'article L. 165-1 du code de la sécurité sociale - Légifrance n.d. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037615111/>.
- [5] Décret n° 2019-21 du 11 janvier 2019 visant à garantir un accès sans reste à charge à certains équipements d'optique, aides auditives et soins prothétiques dentaires. 2019.
- [6] Kunelskaya NL, Levina YV, Melnikov OA, Guseva AL, Izotova GN. [Hearing care aspects in universal face mask use during the COVID 19 pandemic]. Vestn Otorinolaringol 2021;86:9–12. <https://doi.org/10.17116/otorino2021860419>.
- [7] Aubin-Karpinski L. Les ORL opposés à une nouvelle dérogation de prescription pour les généralistes. Audiol Demain 2021. <https://audiologie-demain.com/100-sante-une-belle-machine-a-ne-pas-gripper/les-ork-opposes-a-une-nouvelle-derogation-de-prescription-pour-les-generalistes>.
- [8] Bureau International d'Audiophonologie. Recommandations sur l'audiométrie et la classification des surdités n.d. Classification audiométrique des déficiences auditives (accessed October 17, 2021).
- [9] Surdités et déficience auditive. OMS 2021. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>.
- [10] Hini E. Le handicap auditif en France : apports de l'enquête Handicaps, incapacités, dépendance, 1998-1999. DREES - Etude Résultats 2007;589.

- [11] Goman AM, Lin FR. Prevalence of Hearing Loss by Severity in the United States. *Am J Public Health* 2016;106:1820–2. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2016.303299>.
- [12] Goman AM, Reed NS, Lin FR. Addressing Estimated Hearing Loss in Adults in 2060. *JAMA Otolaryngol-- Head Neck Surg* 2017;143:733–4. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2016.4642>.
- [13] Rodríguez-Valiente A, Álvarez-Montero Ó, Górriz-Gil C, García-Berrocal JR. Prevalence of presbycusis in an otologically normal population. *Acta Otorrinolaringol Engl Ed* 2020;71:175–80. <https://doi.org/10.1016/j.otoeng.2019.05.003>.
- [14] Pierson LL, Gerhardt KJ, Rodriguez GP, Yanke RB. Relationship between outer ear resonance and permanent noise-induced hearing loss. *Am J Otolaryngol* 1994;15:37–40. [https://doi.org/10.1016/0196-0709\(94\)90038-8](https://doi.org/10.1016/0196-0709(94)90038-8).
- [15] Ng L, Kelley MW, Forrest D. Making sense with thyroid hormone--the role of T(3) in auditory development. *Nat Rev Endocrinol* 2013;9:296–307. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2013.58>.
- [16] Salvi R, Ding D, Jiang H, Chen G-D, Greco A, Manohar S, et al. Hidden Age-Related Hearing Loss and Hearing Disorders: Current Knowledge and Future Directions. *Hear Balance Commun* 2018;16:74–82. <https://doi.org/10.1080/21695717.2018.1442282>.
- [17] Chen G-D, Tanaka C, Henderson D. Relation between outer hair cell loss and hearing loss in rats exposed to styrene. *Hear Res* 2008;243:28–34. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2008.05.008>.
- [18] Shannon RV, Zeng F-G, Kamath V, Wygonski J, Ekelid M. Speech Recognition with Primarily Temporal Cues. *Science* 1995. <https://doi.org/10.1126/science.270.5234.303>.
- [19] Somashekara H, Krishnani N, Bhat J, Nambi A. Contribution of frequency modulations to the perception of spectrally shifted speech in quiet and noise. *Int J Med Res Health Sci* 2014;3:369. <https://doi.org/10.5958/j.2319-5886.3.2.077>.
- [20] Carlyon RP. How the brain separates sounds. *Trends Cogn Sci* 2004;8:465–71. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.08.008>.
- [21] Kurthen I, Galbier J, Jagoda L, Neuschwander P, Giroud N, Meyer M. Selective attention modulates neural envelope tracking of informationally masked speech in healthy older adults. *Hum Brain Mapp* 2021;42:3042–57. <https://doi.org/10.1002/hbm.25415>.

- [22] Shinn-Cunningham BG, Best V. Selective attention in normal and impaired hearing. *Trends Amplif* 2008;12:283–99. <https://doi.org/10.1177/1084713808325306>.
- [23] Bharadwaj HM, Verhulst S, Shaheen L, Liberman MC, Shinn-Cunningham BG. Cochlear neuropathy and the coding of supra-threshold sound. *Front Syst Neurosci* 2014;8. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2014.00026>.
- [24] Lobarinas E, Salvi R, Ding D. Insensitivity of the Audiogram to Carboplatin Induced Inner hair cell loss in Chinchillas. *Hear Res* 2013;0:113–20. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.03.012>.
- [25] Huet A, Batrel C, Wang J, Desmadryl G, Nouvian R, Puel JL, et al. Sound Coding in the Auditory Nerve: From Single Fiber Activity to Cochlear Mass Potentials in Gerbils. *Neuroscience* 2019;407:83–92. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2018.10.010>.
- [26] Furman AC, Kujawa SG, Liberman MC. Noise-induced cochlear neuropathy is selective for fibers with low spontaneous rates. *J Neurophysiol* 2013;110:577–86. <https://doi.org/10.1152/jn.00164.2013>.
- [27] Schuknecht HF, Gacek MR. Cochlear pathology in presbycusis. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1993;102:1–16. <https://doi.org/10.1177/00034894931020S101>.
- [28] Le TN, Straatman LV, Lea J, Westerberg B. Current insights in noise-induced hearing loss: a literature review of the underlying mechanism, pathophysiology, asymmetry, and management options. *J Otolaryngol - Head Neck Surg* 2017;46:41. <https://doi.org/10.1186/s40463-017-0219-x>.
- [29] Wu P, Liberman L, Bennett K, de Gruttola V, O'Malley J, Liberman M. Primary neural degeneration in the human cochlea: evidence for hidden hearing loss in the aging ear. *Neuroscience* 2019;407:8–20. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2018.07.053>.
- [30] Liberman MC. Noise-induced and age-related hearing loss: new perspectives and potential therapies. *F1000Research* 2017;6:927. <https://doi.org/10.12688/f1000research.11310.1>.
- [31] Liberman MC. HIDDEN HEARING LOSS. *Sci Am* 2015;313:48–53.
- [32] Barbee CM, James JA, Park JH, Smith EM, Johnson CE, Clifton S, et al. Effectiveness of Auditory Measures for Detecting Hidden Hearing Loss and/or Cochlear Synaptopathy: A Systematic Review. *Semin Hear* 2018;39:172–209. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1641743>.

- [33] Liberman MC, Epstein MJ, Cleveland SS, Wang H, Maison SF. Toward a Differential Diagnosis of Hidden Hearing Loss in Humans. *PLoS ONE* 2016;11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162726>.
- [34] Musiek FE, Baran JA, Bellis TJ, Chermak GD. Guidelines for the Diagnosis, Treatment and Management of Children and Adults with Central Auditory Processing Disorder n.d.:51.
- [35] Sardone R, Battista P, Panza F, Lozupone M, Griseta C, Castellana F, et al. The Age-Related Central Auditory Processing Disorder: Silent Impairment of the Cognitive Ear. *Front Neurosci* 2019;13:619. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00619>.
- [36] Della Penna S, Brancucci A, Babiloni C, Franciotti R, Pizzella V, Rossi D, et al. Lateralization of dichotic speech stimuli is based on specific auditory pathway interactions: neuromagnetic evidence. *Cereb Cortex N Y N* 1991 2007;17:2303–11. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhl139>.
- [37] Jerger J, Martin J. Dichotic listening tests in the assessment of auditory processing disorders. *Audiol Med* 2006;4:25–34. <https://doi.org/10.1080/16513860600567823>.
- [38] Schneider B. Psychoacoustics and aging: Implications for everyday listening. *J Speech-Lang Pathol Audiol* 1997;21:111–24.
- [39] Rasmus A, Błachnio A. Auditory Processing Disorders in Elderly Persons vs. Linguistic and Emotional Prosody. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18:6427. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126427>.
- [40] Craik FIM. The role of cognition in age-related hearing loss. *J Am Acad Audiol* 2007;18:539–47. <https://doi.org/10.3766/jaaa.18.7.2>.
- [41] Gates GA, Cobb JL, Linn RT, Rees T, Wolf PA, D'Agostino RB. Central auditory dysfunction, cognitive dysfunction, and dementia in older people. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1996;122:161–7. <https://doi.org/10.1001/archotol.1996.01890140047010>.
- [42] Gates GA. Central Presbycusis: An Emerging View. *Otolaryngol Neck Surg* 2012;147:1–2. <https://doi.org/10.1177/0194599812446282>.
- [43] Wang J, Puel J-L. Presbycusis: An Update on Cochlear Mechanisms and Therapies. *J Clin Med* 2020;9. <https://doi.org/10.3390/jcm9010218>.
- [44] Nolan LS. Age-related hearing loss: Why we need to think about sex as a biological variable. *J Neurosci Res* 2020;98:1705–20. <https://doi.org/10.1002/jnr.24647>.

- [45] Wasano K, Kaga K, Ogawa K. Patterns of hearing changes in women and men from denarians to nonagenarians. *Lancet Reg Health – West Pac* 2021;9. <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2021.100131>.
- [46] Hara K, Okada M, Takagi D, Tanaka K, Senba H, Teraoka M, et al. Association between hypertension, dyslipidemia, and diabetes and prevalence of hearing impairment in Japan. *Hypertens Res Off J Jpn Soc Hypertens* 2020;43:963–8. <https://doi.org/10.1038/s41440-020-0444-y>.
- [47] Moon S, Park JH, Yu JM, Choi M-K, Yoo HJ. Association between diabetes mellitus and hearing impairment in American and Korean populations. *J Diabetes Complications* 2018;32:630–4. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2018.04.004>.
- [48] Umesawa M, Sairenchi T, Haruyama Y, Nagao M, Kobashi G. Association between hypertension and hearing impairment in health check-ups among Japanese workers: a cross-sectional study. *BMJ Open* 2019;9:e028392. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-028392>.
- [49] Bae SH, Kwak SH, Choi JY, Jung J. Synergistic effect of smoking on age-related hearing loss in patients with diabetes. *Sci Rep* 2020;10:18893. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75880-2>.
- [50] Wattamwar K, Qian ZJ, Otter J, Leskowitz MJ, Caruana FF, Siedlecki B, et al. Association of Cardiovascular Comorbidities With Hearing Loss in the Older Old. *JAMA Otolaryngol-- Head Neck Surg* 2018;144:623–9. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2018.0643>.
- [51] Kim SY, Lee CH, Min C, Yoo DM, Choi HG. Association between statin medication and hearing impairment in a national health screening cohort. *Sci Rep* 2021;11:14388. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93916-z>.
- [52] Wu P-Z, O'Malley JT, de Gruttola V, Liberman MC. Primary Neural Degeneration in Noise-Exposed Human Cochleas: Correlations with Outer Hair Cell Loss and Word-Discrimination Scores. *J Neurosci Off J Soc Neurosci* 2021;41:4439–47. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3238-20.2021>.
- [53] What is noise-induced hearing loss? n.d. <https://doi.org/10.12968/hmed.2019.80.9.525>.
- [54] Kurabi A, Keithley EM, Housley GD, Ryan AF, Wong AC-Y. Cellular mechanisms of noise-induced hearing loss. *Hear Res* 2017;349:129–37. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2016.11.013>.

- [55] Van Eynde C, Denys S, Desloovere C, Wouters J, Verhaert N. Speech-in-noise testing as a marker for noise-induced hearing loss and tinnitus. *B-ENT* 2016;Suppl 26:185–91.
- [56] Tuerdi A, Kinoshita M, Kamogashira T, Fujimoto C, Iwasaki S, Shimizu T, et al. Manganese superoxide dismutase influences the extent of noise-induced hearing loss in mice. *Neurosci Lett* 2017;642:123–8. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2017.02.003>.
- [57] Yamaguchi T, Yoneyama M, Ogita K. Calpain inhibitor alleviates permanent hearing loss induced by intense noise by preventing disruption of gap junction-mediated intercellular communication in the cochlear spiral ligament. *Eur J Pharmacol* 2017;803:187–94. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2017.03.058>.
- [58] Vethanayagam RR, Yang W, Dong Y, Hu BH. Toll-like receptor 4 modulates the cochlear immune response to acoustic injury. *Cell Death Dis* 2016;7:e2245. <https://doi.org/10.1038/cddis.2016.156>.
- [59] Feng S, Yang L, Hui L, Luo Y, Du Z, Xiong W, et al. Long-term exposure to low-intensity environmental noise aggravates age-related hearing loss via disruption of cochlear ribbon synapses. *Am J Transl Res* 2020;12:3674–87.
- [60] Huang Q, Jin Y, Reed NS, Ma Y, Power MC, Talegawkar SA. Diet quality and hearing loss among middle-older aged adults in the USA: findings from National Health and Nutrition Examination Survey. *Public Health Nutr* 2020;23:812–20. <https://doi.org/10.1017/S1368980019002970>.
- [61] Tanaka K, Okada M, Kato H, Utsunomiya H, Senba H, Takagi D, et al. Higher number of teeth is associated with decreased prevalence of hearing impairment in Japan. *Arch Gerontol Geriatr* 2021;97:104502. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2021.104502>.
- [62] Lee S-S, Han K, Joo Y-H. Association between low bone mineral density and hearing impairment in postmenopausal women: the Korean National Health and Nutrition Examination Survey. *BMJ Open* 2018;8:e018763. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-018763>.
- [63] Gates GA, Couropmitree NN, Myers RH. Genetic Associations in Age-Related Hearing Thresholds. *Arch Otolaryngol Neck Surg* 1999;125:654–9. <https://doi.org/10.1001/archotol.125.6.654>.
- [64] Matsumaru D, Motohashi H. The KEAP1-NRF2 System in Healthy Aging and Longevity. *Antioxidants* 2021;10:1929. <https://doi.org/10.3390/antiox10121929>.
- [65] Honkura Y, Matsuo H, Murakami S, Sakiyama M, Mizutani K, Shiotani A, et al. NRF2 Is a Key Target for Prevention of Noise-Induced Hearing Loss by

- Reducing Oxidative Damage of Cochlea. *Sci Rep* 2016;6:19329. <https://doi.org/10.1038/srep19329>.
- [66] Boucher S, Tai FWJ, Delmaghani S, Lelli A, Singh-Estivalet A, Dupont T, et al. Ultrarare heterozygous pathogenic variants of genes causing dominant forms of early-onset deafness underlie severe presbycusis. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2020;117:31278–89. <https://doi.org/10.1073/pnas.2010782117>.
- [67] Mick P, Kawachi I, Lin FR. The association between hearing loss and social isolation in older adults. *Otolaryngol--Head Neck Surg Off J Am Acad Otolaryngol-Head Neck Surg* 2014;150:378–84. <https://doi.org/10.1177/0194599813518021>.
- [68] Brink P, Stones M. Examination of the relationship among hearing impairment, linguistic communication, mood, and social engagement of residents in complex continuing-care facilities. *The Gerontologist* 2007;47:633–41. <https://doi.org/10.1093/geront/47.5.633>.
- [69] Mikkola TM, Polku H, Portegijs E, Rantakokko M, Tsai L-T, Rantanen T, et al. Self-reported hearing is associated with time spent out-of-home and withdrawal from leisure activities in older community-dwelling adults. *Aging Clin Exp Res* 2016;28:297–302. <https://doi.org/10.1007/s40520-015-0389-1>.
- [70] Lawrence BJ, Jayakody DMP, Bennett RJ, Eikelboom RH, Gasson N, Friedland PL. Hearing Loss and Depression in Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. *The Gerontologist* 2020;60:e137–54. <https://doi.org/10.1093/geront/gnz009>.
- [71] Rutherford BR, Brewster K, Golub JS, Kim AH, Roose SP. Sensation and Psychiatry: Linking Age-Related Hearing Loss to Late-Life Depression and Cognitive Decline. *Am J Psychiatry* 2018;175:215–24. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2017.17040423>.
- [72] Lin FR, Albert M. Hearing Loss and Dementia – Who’s Listening? *Aging Ment Health* 2014;18:671–3. <https://doi.org/10.1080/13607863.2014.915924>.
- [73] Xu Y, Li Y, Guo D, Zhang X, Guo H, Cao H, et al. Association of Hearing Acuity and Cognitive Function Among a Low-Income Elderly Population in Rural China: A Population-Based Cross-Sectional Study. *Front Neurosci* 2021;15:704871. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.704871>.
- [74] Peelle JE, Troiani V, Grossman M, Wingfield A. Hearing loss in older adults affects neural systems supporting speech comprehension. *J Neurosci Off J Soc Neurosci* 2011;31:12638–43. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2559-11.2011>.

- [75] Armstrong NM, An Y, Doshi J, Erus G, Ferrucci L, Davatzikos C, et al. Association of Midlife Hearing Impairment With Late-Life Temporal Lobe Volume Loss. *JAMA Otolaryngol-- Head Neck Surg* 2019;145:794–802. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2019.1610>.
- [76] Yévenes-Briones H, Caballero FF, Struijk EA, Rey-Martinez J, Montes-Jovellar L, Graciani A, et al. Association Between Hearing Loss and Impaired Physical Function, Frailty, and Disability in Older Adults: A Cross-sectional Study. *JAMA Otolaryngol-- Head Neck Surg* 2021;147:951–8. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2021.2399>.
- [77] Ciquinato DS de A, Doi MY, Silva RA da, Oliveira MR de, Gil AW de O, Marchiori LL de M. Posturographic Analysis in the Elderly with and without sensorineural Hearing Loss. *Int Arch Otorhinolaryngol* 2020;24:e496–502. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1701271>.
- [78] Lin FR, Ferrucci L. Hearing Loss and Falls Among Older Adults in the United States. *Arch Intern Med* 2012;172:369–71. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2011.728>.
- [79] Campos J, Ramkhalawansingh R, Pichora-Fuller MK. Hearing, self-motion perception, mobility, and aging. *Hear Res* 2018;369:42–55. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.03.025>.
- [80] Diao M, Sun J, Jiang T, Tian F, Jia Z, Liu Y, et al. Comparison between self-reported hearing and measured hearing thresholds of the elderly in China. *Ear Hear* 2014;35:e228-232. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000050>.
- [81] Lichtenstein MJ, Bess FH, Logan SA. Validation of screening tools for identifying hearing-impaired elderly in primary care. *JAMA* 1988;259:2875–8.
- [82] Laplante-Lévesque A, Brännström KJ, Ingo E, Andersson G, Lunner T. Stages of change in adults who have failed an online hearing screening. *Ear Hear* 2015;36:92–101. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000085>.
- [83] Öberg M. Validation of the Swedish Hearing Handicap Inventory for the Elderly (Screening Version) and Evaluation of Its Effect in Hearing Aid Rehabilitation. *Trends Hear* 2016;20:2331216516639234. <https://doi.org/10.1177/2331216516639234>.
- [84] Becerril-Ramírez PB, González-Sánchez DF, Gómez-García A, Figueroa-Moreno R, Bravo-Escobar GA, García de la Cruz MA. Hearing loss screening tests for adults. *Acta Otorrinolaringol Esp* 2013;64:184–90. <https://doi.org/10.1016/j.otorri.2012.11.004>.

- [85] Yueh B, Shapiro N, MacLean CH, Shekelle PG. Screening and management of adult hearing loss in primary care: scientific review. *JAMA* 2003;289:1976–85. <https://doi.org/10.1001/jama.289.15.1976>.
- [86] Edmiston R, Mitchell C. Hearing loss in adults. *BMJ* 2013;346:f2496–f2496. <https://doi.org/10.1136/bmj.f2496>.
- [87] AAO HNS. Letter regarding Over The Counter Hearing Aids 2017.
- [88] Heidet L, Bouissou F. Orphanet - Le syndrome d'Alport 2010.
- [89] Faulconbridge RL, Bowdler D. Hearing aids and how to get one. *ENT UK* 2011. <https://www.entuk.org/hearing-aids-and-how-get-one>.
- [90] Humes LE, Rogers SE, Quigley TM, Main AK, Kinney DL, Herring C. The Effects of Service-Delivery Model and Purchase Price on Hearing-Aid Outcomes in Older Adults: A Randomized Double-Blind Placebo-Controlled Clinical Trial. *Am J Audiol* 2017;26:53–79. https://doi.org/10.1044/2017_AJA-16-0111.
- [91] Duchêne J. Validation et évaluation de la version française du questionnaire de dépistage du handicap auditif HHIE-S (Hearing Handicap Inventory for the Elderly-Screening) chez l'adulte de plus de 60 ans n.d.:103.
- [92] SFORL. Recommandations de la Société Française D'audiologie (SFA) et de la Société Française d'ORL et de Chirurgie Cervico-Faciale (SFORL) pour la pratique de l'audiométrie vocale dans le bruit chez l'adulte. SFORL; 2020.
- [93] Reynard P, Lagacé J, Joly C-A, Dodelé L, Veuillet E, Thai-Van H. Speech-in-Noise Audiometry in Adults: A Review of the Available Tests for French Speakers. *Audiol Neurootol* 2021:1–15. <https://doi.org/10.1159/000518968>.
- [94] Leclercq F, Renard C, Vincent C. Audiométrie vocale dans le bruit : mise au point du test VRB (vocale rapide dans le bruit). *Ann Fr Oto-Rhino-Laryngol Pathol Cervico-Faciale* 2018;135:309–13. <https://doi.org/10.1016/j.aforl.2018.02.005>.
- [95] Killion MC, Niquette PA, Gudmundsen GI, Revit LJ, Banerjee S. Development of a quick speech-in-noise test for measuring signal-to-noise ratio loss in normal-hearing and hearing-impaired listeners. *J Acoust Soc Am* 2004;116:2395–405. <https://doi.org/10.1121/1.1784440>.
- [96] Djakoure M-J. Evaluation d'un test d'audiométrie vocale rapide dans le bruit (VRB) par la mesure du rapport signal-sur-bruit. n.d.
- [97] Decambron M, Leclercq F, Renard C, Vincent C. Speech audiometry in noise: SNR Loss per age-group in normal hearing subjects. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis* 2021. <https://doi.org/10.1016/j.anorl.2021.05.001>.

- [98] Chien W, Lin FR. Prevalence of Hearing Aid Use Among Older Adults in the United States. *Arch Intern Med* 2012;172:292–3. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2011.1408>.
- [99] Vaisbuch Y, Santa Maria PL. Age-Related Hearing Loss: Innovations in Hearing Augmentation. *Otolaryngol Clin North Am* 2018;51:705–23. <https://doi.org/10.1016/j.otc.2018.03.002>.
- [100] ANOVUM. Enquête EuroTrack France commanditée par l’association EHIMA des fournisseurs d’aides auditives 2018.
- [101] Souza P, Arehart K, Schoof T, Anderson M, Strori D, Balmert L. Understanding Variability in Individual Response to Hearing Aid Signal Processing in Wearable Hearing Aids. *Ear Hear* 2019;40:1280–92. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000717>.
- [102] Rallapalli V, Ellis G, Souza P. Effects of Directionality, Compression, and Working Memory on Speech Recognition. *Ear Hear* 2020;42:492–505. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000970>.
- [103] Cuoco S, Cappiello A, Scarpa A, Troisi D, Autuori M, Ponticorvo S, et al. Neuropsychological profile of hearing-impaired patients and the effect of hearing aid on cognitive functions: an exploratory study. *Sci Rep* 2021;11:9384. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88487-y>.
- [104] McCormack A, Fortnum H. Why do people fitted with hearing aids not wear them? *Int J Audiol* 2013;52:360–8. <https://doi.org/10.3109/14992027.2013.769066>.
- [105] Ridgway J, Hickson L, Lind C. What Factors Are Associated with Autonomous and Controlled Motivation for Hearing Help-Seekers? *J Am Acad Audiol* 2017;28:644–54. <https://doi.org/10.3766/jaaa.16098>.
- [106] Prescription des prothèses auditives : ce qui change n.d. <https://www.snorl.org/category-acces-libre/category-actualites/prescription-des-protheses-auditives-ce-qui-change/> (accessed December 27, 2021).
- [107] Rocha LV, Martinelli MC. Cognition and benefit obtained with hearing aids: a study in elderly people. *CoDAS* 2020;32:e20180259. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20192018259>.
- [108] Fonseca FC da, Lório MCM. Hearing aids dispensed by SUS and quality of life. *Rev CEFAC* 2014;16:768–78. <https://doi.org/10.1590/1982-021620143413>.
- [109] Castiglione A, Benatti A, Velardita C, Favaro D, Padoan E, Severi D, et al. Aging, Cognitive Decline and Hearing Loss: Effects of Auditory Rehabilitation

- and Training with Hearing Aids and Cochlear Implants on Cognitive Function and Depression among Older Adults. *Audiol Neurotol* 2016;21 Suppl 1:21–8. <https://doi.org/10.1159/000448350>.
- [110] Ray J, Popli G, Fell G. Association of Cognition and Age-Related Hearing Impairment in the English Longitudinal Study of Ageing. *JAMA Otolaryngol--Head Neck Surg* 2018;144:876–82. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2018.1656>.
- [111] Amieva H, Ouvrard C, Meillon C, Rullier L, Dartigues J-F. Death, Depression, Disability, and Dementia Associated With Self-reported Hearing Problems: A 25-Year Study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2018;73:1383–9. <https://doi.org/10.1093/gerona/glx250>.
- [112] Maharani A, Dawes P, Nazroo J, Tampubolon G, Pendleton N, SENSE-Cog WP1 group. Longitudinal Relationship Between Hearing Aid Use and Cognitive Function in Older Americans. *J Am Geriatr Soc* 2018;66:1130–6. <https://doi.org/10.1111/jgs.15363>.
- [113] Jiam NT-L, Li C, Agrawal Y. Hearing loss and falls: A systematic review and meta-analysis. *The Laryngoscope* 2016;126:2587–96. <https://doi.org/10.1002/lary.25927>.
- [114] Plan en faveur des personnes sourdes ou malentendantes. SECRETARIAT D'ETAT CHARGE DE LA FAMILLE ET DE LA SOLIDARITE; 2011.
- [115] Goksuluk D, Korkmaz S, Zararsiz G. easyROC: a web-tool for ROC curve analysis (ver. 1.3.1). 2016.
- [116] Hiyama K, Komiyama S, Hamasaki K. The Minimum Number of Loudspeakers and its Arrangement for Reproducing the Spatial Impression of Diffuse Sound Field, Audio Engineering Society; 2002.

Annexes

Protocole de recherche soumis à validation par un comité de protection des personnes

AUTEUR : Nom : MACARIO

Prénom : Jeanne

Date de Soutenance : 9/03/2022

Titre de la Thèse : Étude pilote pour la validation du test de Vocal Rapide dans le Bruit à 1 haut-parleur dans l'indication d'appareillage de la presbyacousie

Thèse - Médecine - Lille 2022

Cadre de classement : Spécialités Médicales

DES + spécialité : ORL et chirurgie cervico-faciale

Mots-clés : Presbyacousie. Audiométrie vocale dans le bruit. Étude diagnostique. Appareillage auditif

Résumé :

Contexte : La réforme du 100% santé permet un accès généralisé et financièrement facilité de l'appareillage auditif aux personnes présentant une surdité. Nous nous intéressons au sujet de plus de 60 ans chez qui la surdité apparaît puis s'accroît naturellement avec l'âge. Une gêne très fréquemment rapportée concerne l'audition dans le bruit. Nous étudions ici le test Vocal Rapide dans le Bruit à 1 haut-parleur (VRB 1.1), évaluant quantitativement et écologiquement l'intelligibilité dans le bruit. Nous évaluons sa sensibilité et sa spécificité à diagnostiquer une indication d'appareillage dans la presbyacousie et recherchons le score seuil pour cet usage.

Matériel et Méthodes : Nous avons rédigé un protocole de recherche dans le but de valider notre test à plus grande échelle et avons réalisé une étude préliminaire de faisabilité. Nous avons recruté 25 témoins de plus de 60 ans normoentendants et 34 sujets presbyacousiques en indication d'appareillage. Les 2 groupes bénéficiaient d'un bilan audiométrique au casque dans le silence (Gold Standard) pour déterminer s'ils étaient en indication d'appareillage, et du VRB 1.1.

Résultats : Sur notre étude préliminaire le seuil discriminant au VRB 1.1 pour détecter une indication d'appareillage est de 4,75 dB RSB, avec une sensibilité de 97,1% et une spécificité de 96%. La corrélation entre le score au VRB et la perte dans le silence était statistiquement significative ($r=0,905$, $p<0,00001$), forte, de type linéaire et positive.

Conclusion : Nos résultats sont en faveur d'une bonne valeur du VRB 1.1 pour déterminer si un sujet de plus de 60 ans est en indication d'appareillage ou non. Sa validation à plus grande échelle nous semble pertinente et indispensable.

Composition du Jury :

Président et Directeur : Monsieur le Professeur Christophe Vincent

Assesseurs : Monsieur le Professeur Dominique Chevalier

Monsieur le Professeur Pierre Fayoux

Monsieur le Docteur Cyril Beck