



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

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



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

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

---

**Directeur Professeur Jacques LUAUTE**

---

L'INFLUENCE DU RECD SUR LA PRESCRIPTION DE GAIN

MEMOIRE présenté pour l'obtention du

**DIPLOME D'ETAT D'AUDIOPROTHESISTE**

par

TURQUIER Simon

Autorisation de reproduction

LYON, le

18 octobre 2024

**David COLIN**  
Responsable de l'Enseignement

N° 1039

Président  
**Pr Frédéric FLEURY**

Vice-président CA  
**M. REVEL Didier**

Vice-président CFVU

Directeur Général des Services  
**M. ROLLAND Pierre**

**M. CHEVALIER Philippe**

Vice-président CS  
**M. VALLEE Fabrice**

## Secteur Santé

U.F.R. de Médecine Lyon Est  
Directeur  
**Pr. RODE Gilles**

Directeur  
**Pr. SEUX Dominique**

U.F.R de Médecine Lyon-Sud  
Charles Mérieux  
Directrice  
**Pr BURILLON Carole**

Institut des Sciences Pharmaceutiques  
et Biologiques  
Directrice  
**Pr VINCIGUERRA Christine**

Département de Formation et  
Centre de Recherche en Biologie  
Humaine  
Directeur  
**Pr SCHOTT Anne-Marie**

Institut des Sciences et Techniques de  
Réadaptation  
Directeur  
**Pr Jacques LUAUTE**

Comité de Coordination des  
Etudes Médicales (CCEM)  
**Pr COCHAT Pierre**

U.F.R d'Odontologie

---

## Secteur Sciences et Technologies

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

Directeur

**M. VANPOULLE Yannick**

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

Directeur

**M. LEBOISNE Nicolas**

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

Directeur

**M. CHAREYRON Pierre**

UFR de Sciences et Technologies

Directeur

**M. ANDRIOLETTI Bruno**

POLYTECH LYON

Directeur

**Pr PERRIN Emmanuel**

IUT LYON 1

Directeur

**M. VITON Christophe**

Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique de Lyon (ESCPE)

Directeur

**M. PIGNAULT Gérard**

Observatoire astronomique de Lyon

Directeur

**Mme DANIEL Isabelle**

# REMERCIEMENTS

Je souhaite exprimer toute ma reconnaissance envers Madame Marine Gas, maître de stage et de mémoire, pour ses précieux conseils dispensés tout au long de mon stage et sa disponibilité durant l'élaboration de ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Monsieur Fabien Seldran, mon référent mémoire, pour ses conseils et sa disponibilité tout au long de la rédaction de ce mémoire.

Mes sincères remerciements vont également à mes maîtres de stage de première et deuxième année, respectivement Monsieur Grégoire Ligier et Madame Clélia François, pour leur enseignement enrichissant.

Je souhaite exprimer ma gratitude envers Monsieur Jean Baptiste Lemasson, lecteur de ce mémoire, pour son engagement et ses retours éclairés.

Je tiens également à adresser mes remerciements à l'ensemble du corps enseignant de l'école d'audioprothèse de l'Université Claude Bernard pour leur disponibilité.

Je suis reconnaissant envers toutes les personnes qui ont accepté de participer à mon étude, que ce soient les patients, les étudiants ou les collègues.

Un grand merci à mes amis pour leur soutien indéfectible et leur présence durant ces années d'études qui resteront inoubliables.

Enfin, je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers mes parents et mes sœurs pour leur soutien constant et leur encouragement tout au long de mes années d'études.

# **SOMMAIRE**

## **INTRODUCTION**

## **PARTIE THEORIQUE**

### **I- Rappel Anatomique**

- a. L'oreille externe
- b. La cavité résiduelle

### **II- Rappel physique**

- a. Propagation de l'onde sonore
- b. Energie
- c. Application de la loi Boyle Mariotte

### **III- Recueil des seuils auditif**

- a. Audiométrie
- b. Méthode de passation du test
- c. Les inserts

### **IV- Transformation des seuils HL/SPL et méthodologie d'appareillage**

- a. La méthode DSL
- b. La méthode NAL

### **V- Le RECD**

## **PARTIE EXPERIMENTALE**

### **I- Objectif de l'étude**

### **II- Matériel et méthode**

- a. Population étudiée
- b. Matériel

### **III- Résultat**

- a. Méthode DSL
  - 1- Audiogramme N2, perte légère
  - 2- Audiogramme N4, perte moyenne
  - 3- Audiogramme N6, perte sévère
  - 4- Variations des cibles
  
- b. Méthode NAL NL2
  - 5- Audiogramme N2, perte légère
  - 6- Audiogramme N4, perte moyenne
  - 7- Audiogramme N6, perte sévère
  - 8- Variations des cibles

## **DISCUSSION**

### **I- Analyses des résultats**

- a. Influence du RECD sur la méthodologie DSL V5
- b. Influence du RECD sur la méthodologie DSL V5

### **II- Limites Tests**

## **CONCLUSION**

## **BIBLIOGRAPHIE**

## **ANNEXES**

# INTRODUCTION

L'audioprothèse est un domaine en constante évolution, où les pratiques et les techniques de réglage des appareils auditifs sont très variés suivant les audioprothésistes. Lors de mon premier stage en centre d'audioprothèse, j'ai eu l'opportunité d'observer de près les pratiques professionnelles et les méthodes de réglage des aides auditives à l'aide de la mesure in vivo. Un aspect qui a particulièrement retenu mon attention est la réalisation systématique de la mesure du RECD (Real Ear to Coupler Difference) par mon maître de stage. Cependant, au cours de mes stages suivants, dans différents établissements, j'ai constaté que cette pratique n'était pas généralisée, voire parfois négligée. Cette disparité dans l'application de la mesure du RECD m'a conduit à m'interroger sur son importance et son influence potentielle sur la prescription de gain en audioprothèse.

Le RECD est une mesure essentielle dans le processus de réglage des appareils auditifs, car il permet de prendre en compte les caractéristiques acoustiques spécifiques du conduit auditif. Sans cette mesure, les cibles de pré-réglages sont calculées à l'aide d'un RECD théorique propre à chaque méthodologie de pré-réglage.

Ainsi, le principal objectif de ce mémoire est de comparer l'impact du RECD mesuré sur les cibles de gain par rapport aux cibles calculées avec un RECD théorique, en utilisant différentes méthodologies de réglage des appareils auditifs. Cette analyse permettra de mieux comprendre l'importance de mesurer le RECD dans la pratique de l'audioprothèse et d'évaluer son influence sur les prescriptions de gain.

# PARTIE THEORIQUE

## I- Rappel anatomique

Le système auditif est constitué de deux composantes principales : le système auditif périphérique et le système auditif central. Le système auditif périphérique joue un rôle essentiel dans la transmission, l'analyse et la conversion du signal sonore. Il se compose de trois parties distinctes : l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne. Pour les besoins de notre recherche, nous nous concentrerons spécifiquement sur l'oreille externe.

### a. L'oreille externe

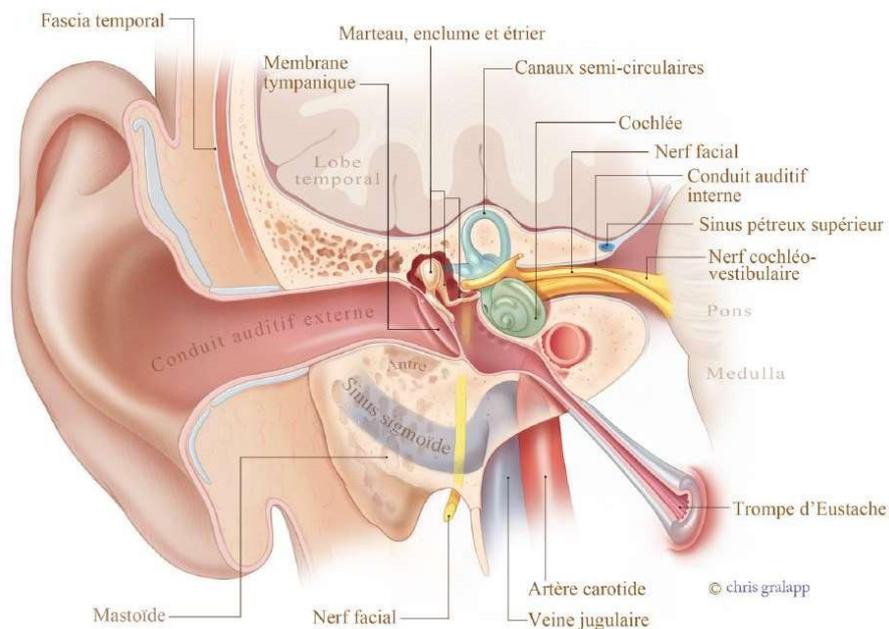


Figure 1 : schéma de l'oreille. Source Chris Galapp

L'oreille externe se compose du pavillon auriculaire et du conduit auditif externe. Le pavillon a pour rôle de capturer les ondes sonores et de les orienter vers le conduit auditif externe. Chez l'adulte, il mesure environ 6 à 6,5 cm de hauteur et 2,5 à 3,6 cm de largeur, et est formé de cartilage élastique recouvert de peau. Il est attaché à la tête par des ligaments pavillonnaires ainsi que par les muscles intrinsèques et extrinsèques du pavillon.

Le conduit auditif externe est un canal court et courbé, entièrement revêtu de peau, s'étendant de la conque jusqu'à la membrane tympanique. Il présente une courbure en forme de S dans un plan horizontal et une courbe convexe vers le haut dans un plan vertical. Le premier tiers du conduit, externe, est composé de cartilage, tandis que les deux tiers restants, internes, sont osseux et creusés dans l'os temporal. Les dimensions du conduit auditif externe, telles que la longueur, le diamètre et le volume, présentent une certaine variabilité, notamment liée à l'âge.

Selon les informations présentées dans l'ouvrage "Audiology Science to Practice - Third Edition, 2019" par Steven Kramer et David K. Brown, le volume du conduit auditif externe varie en fonction de l'âge. Ces données sont issues d'études menées par Roush et al. (1995), l'American Academy of Audiology (2011), Margolis et Hunter (2000), et Hunter (2013).

Age Group	Volume of Ear Canal (ml or cc)
Adults (>10 yrs)	0.8 to 2.20
Children (>18 mo to 10 yrs)	0.6 to 1.20
Children (6 mo yo 18 mo)	0.5 to 1.00
Infants (<6 mo)	0.20 to 0.80

*Figure 2 : Volume du CAE en fonction de l'âge*

## b. La cavité résiduelle

La cavité résiduelle désigne la partie non occupée du conduit auditif externe, excluant l'embout ou toute mousse utilisée lors de procédures telles que l'audiométrie aux inserts ou la mesure du RECD. Le volume de cette cavité correspond à l'air restant à l'intérieur du conduit auditif externe.

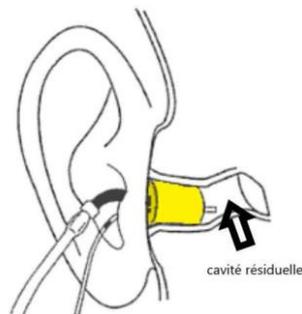


Figure 3: cavité résiduelle. Source : Xavier Delerce – congrès Unsaf 2017

Nous définissons 3 tailles de conduits auditifs, ayant pour dimensions :

Assimilation du CAE à un tube fermé-fermé		Petit CAE	Moyen CAE	Gros CAE
conduit Sans inserts	Longueur (mm)	20	25	30
	Diamètre (mm)	7	8	10
	Volume (cc)	0,77	1,25	2,35
Conduit avec insert ER3A (l=13 mm)	Longueur de conduit résiduel (mm)	7	12	17
	Diamètre (mm)	7	8	10
	Volume cavité résiduelle (cc)	0,269	0,603	1,41

Figure 4: dimensions CAE & cavité résiduelle

## II- Rappel physique

### a. Propagation de l'onde sonore

Le son est une forme de vibration mécanique d'un fluide, se déplaçant sous forme d'ondes longitudinales grâce à la déformation élastique de ce fluide. Il est engendré par la vibration d'un objet, induisant ainsi une variation de pression dans l'air en modifiant la vitesse et la position de ses molécules (voir Figure 5). Deux paramètres fondamentaux caractérisent l'onde sonore : la fréquence, exprimée en Hertz et définissant le nombre d'ondes passant en un point chaque seconde, et l'amplitude, mesurant la variation de pression. Une fois capté par l'oreille, le son peut engendrer des sensations auditives.

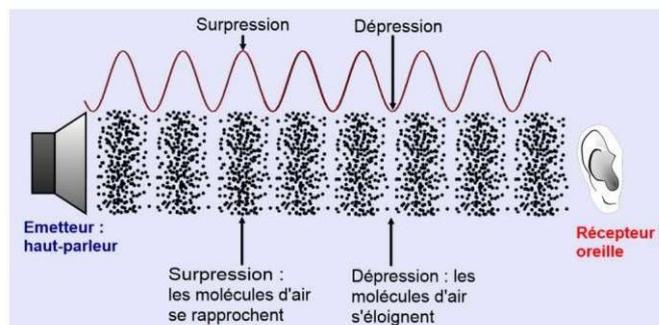


Figure 5: propagation de l'onde sonore. Source : [pcollege.fr/cycle4/cycle-4-classe-de-5eme/chapitre-ix-le-son/](http://pcollege.fr/cycle4/cycle-4-classe-de-5eme/chapitre-ix-le-son/)

### b. Energie

L'énergie acoustique est caractérisée par trois grandeurs acoustiques : la puissance, la pression, et l'intensité.

### - La puissance acoustique

Une source sonore met en mouvement de vibration l'air situé dans son voisinage. La source sonore est caractérisée par sa puissance acoustique (notée  $W$ ). Comme le souligne Beranek (2012), la puissance acoustique est une mesure intrinsèque au produit, exprimée en watts, et constitue la signature acoustique de l'équipement. Le niveau de puissance acoustique, symbolisé par  $L_w$ , d'une source sonore permet de considérer comment la perception auditive varie en fonction de la puissance acoustique. Il est défini par :

$$L_w = 10 * \log\left(\frac{W}{W_0}\right)$$

$W$  = puissance acoustique de la source en Watts

$W_0 = 10^{-12}$  Watts : puissance de référence

$L_w$  = niveau de puissance acoustique en décibel

### - La pression acoustique

La pression acoustique se réfère à la valeur efficace de l'amplitude de la fluctuation rapide de la pression atmosphérique, générant une sensation sonore sur une période de temps déterminée. Cette grandeur est mesurée en Pascal (Pa), l'unité du Système International, équivalente à un Newton par mètre carré (N/m<sup>2</sup>). La variation de pression associée aux ondes sonores est notablement infime par rapport à la pression atmosphérique globale, qui avoisine généralement les 101 325 Pascals. À titre d'exemple, la pression acoustique produite par la voix humaine à une distance d'un mètre est d'environ 0,1 Pascal. Pour un individu normo-entendant, la plus faible pression acoustique perceptible pour un son pur de 1000 Hertz est de l'ordre de  $2 * 10^{-5}$  Pascal. Le niveau de pression acoustique est exprimé en décibels :

$$L(P) = 20 \log\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

#### - L'intensité acoustique

L'intensité acoustique représente la quantité d'énergie sonore traversant une surface pendant une durée définie. Pour un individu doté d'une audition normale, l'intensité correspondant au seuil d'audition est :

$$L_0 = 10^{-12} * \frac{\text{Watts}}{\text{m}^2}$$

Le niveau d'intensité acoustique, mesuré en décibels, permet de considérer comment la perception auditive varie en fonction de l'intensité du son. Sa définition est la suivante :

$$L(I) = 10 * \log\left(\frac{I}{L_0}\right)$$

### c. Application de la Loi Boyle Mariotte à l'audioprothèse

La loi de Boyle-Mariotte établit un lien entre la pression et le volume d'un gaz parfait, à une température constante. Autrement dit, lorsque la température reste constante, une réduction du volume d'un récipient de gaz entraîne une augmentation de sa pression. La valeur précise de la constante n'est pas nécessaire pour appliquer la loi entre deux volumes de gaz, à différentes pressions, sous une même température :

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2$$

Une application pratique sur la cavité résiduelle offre une meilleure compréhension, par le biais de calculs, de l'impact de la variation de la cavité résiduelle sur les variations du niveau de pression "au tympan". Afin de simplifier les équations et leur

mise en pratique, nous faisons les hypothèses suivantes :

- Le conduit auditif externe, dans le cadre d'une mesure RECD, est considéré comme un tube fermé-fermé.
- L'impédance du tympan reste constante dans nos calculs et nous négligerons sont oscillation mécanique afin de considérer un volume constant.
- Nous considérons l'air comme un gaz parfait.

En utilisant la loi de Boyle-Mariotte sur les volumes des cavités résiduelles définis :

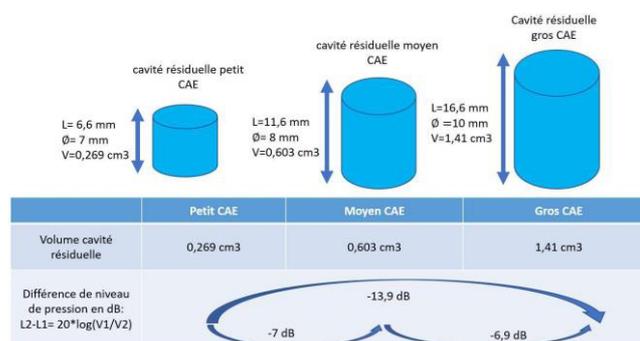


Figure 6: application de la loi de Boyle-Mariotte à la cavité résiduelle

### III- Recueil et représentation des seuils auditif au tympan

#### a. Audiométrie

L'audiométrie tonale est définie par les spécialistes du Collège National d'Audioprothèse (Lefèvre et al, bilan d'orientation prothétique, 2007) comme une évaluation métrologique de l'audition, visant à mesurer l'aire auditive d'un individu afin de la comparer à une aire d'audition normalisée, détaillée dans la section "2.1. Champ

auditif". L'audiométrie tonale liminaire consiste à déterminer l'intensité minimale requise pour qu'un son soit juste perceptible par le sujet, comparant ainsi cette valeur au seuil liminaire standardisé pour chaque fréquence. Il s'agit d'un test subjectif, nécessitant la coopération active du patient. Pour simplifier la quantification de la perte auditive, il a été établi que le seuil d'audition pour une oreille normale est de 0 dB HL (perte auditive) pour toutes les fréquences. Cette convention permet d'évaluer immédiatement, en consultant simplement l'audiogramme, toute perte auditive éventuelle chez le patient.

AUDIOGRAMMES	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	6000 Hz
<b>N1</b>	10	10	10	15	30	40
<b>N2</b>	20	20	25	35	45	50
<b>N3</b>	35	35	40	50	60	65
<b>N4</b>	55	55	55	65	75	80
<b>N5</b>	65	70	75	80	80	80
<b>N6</b>	75	80	85	90	95	100
<b>N7</b>	90	95	105	105	105	105
<b>S1</b>	10	10	10	15	55	70
<b>S2</b>	20	20	25	55	95	95
<b>S3</b>	30	35	60	75	80	85

*Figure 7 : Pertes auditives des audiogrammes standards définis par Bisgaard et al, en dB HL.*

L'étude menée par Bisgaard et al (2010) a établi des standards d'audiogrammes qui couvrent l'ensemble des pertes auditives observées dans la pratique clinique. Leur méthode d'analyse, basée sur l'examen de 28 244 audiogrammes, a abouti à une série de dix types d'audiogrammes. Les audiogrammes, allant de N1 à N7, représentent des cas de presbycusie allant de légère à profonde. Quant aux audiogrammes de S1 à

S3, ils correspondent à des pertes auditives en forme de pente, souvent comparées à une descente de ski.

## **b. Méthode de passation du test**

Comme l'expose X. Delerce en 2017 dans les cahiers de l'audition d'avril 2017 : « mesures et usages du RECD par l'audioprothésiste », il existe 3 méthodes possibles pour déterminer les seuils liminaires d'audition :

- L'audiométrie en champ libre
- L'audiométrie au casque TDH
- L'audiométrie aux inserts

Dans le cadre de ce mémoire, nous allons nous concentrer sur l'audiométrie aux inserts puisque c'est là qu'intervient la mesure du RECD.

## **c. Les inserts**

Un insert est un transducteur utilisé lors d'une audiométrie. Les premiers inserts, nommément ER-1 et ER-2, conçus à des fins de recherche, ont été développés par la société Etymotic Research en 1984.

Un insert (Figure 5) est un écouteur inséré dans le fond de l'oreille. Le principe est de faire parvenir l'onde sonore émise par l'écouteur au plus près du tympan. Pour se faire, le transducteur électroacoustique transforme le signal électrique en signal acoustique qui se propage jusqu'au tympan au travers d'un « tube son »

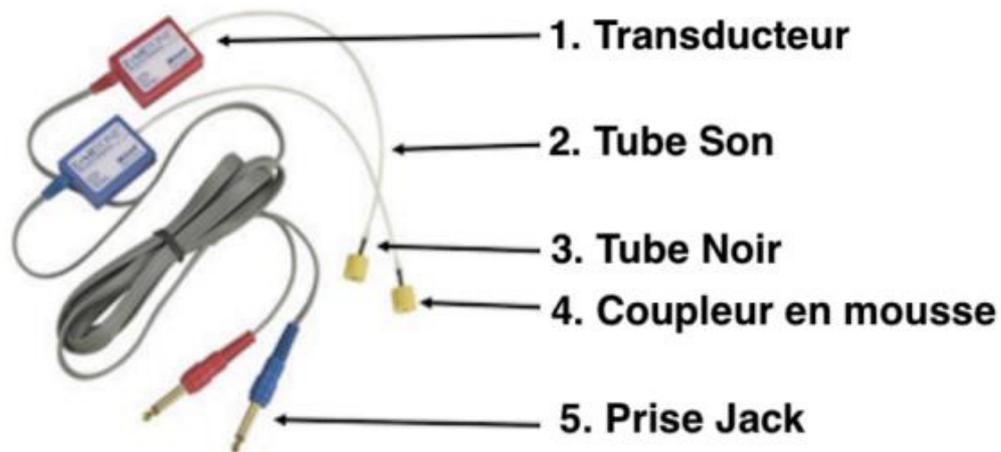
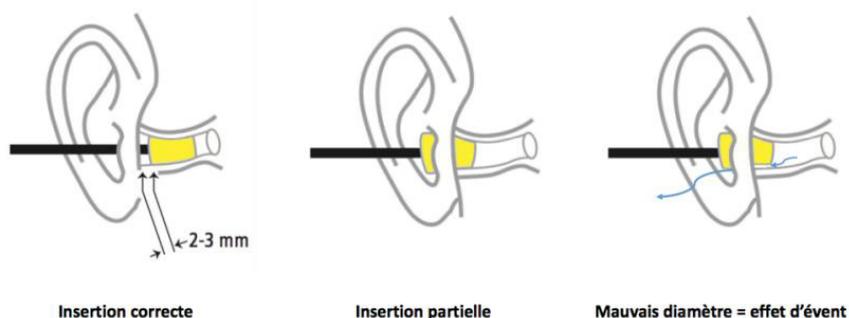


Figure 8 : Insert Etymotic ER-3A



Figure 9 : Diamètres des coupleurs mousse existants

Pour garantir un positionnement correct de l'insert dans l'oreille du patient le testeur doit sélectionner un insert ayant un diamètre approprié au conduit auditif. Il est crucial que l'insert soit suffisamment large pour obturer complètement le conduit, tout en étant inséré à la bonne profondeur (Figure 10), sans dépasser de l'oreille ni causer de gêne au patient.



### *Figure 10 : profondeur d'insertion de l'insert*

Xavier DELERCE et Nadège DURAND ont souligné que l'utilisation des inserts offre une solution pour compenser l'incertitude associée au casque dans l'estimation des niveaux de pression acoustique atteints au tympan dans les fréquences aiguës. D'autres avantages des inserts incluent la prévention de l'affaissement du canal auditif (M.C. Killion, E. VILCHUR, 1986), une meilleure atténuation des bruits ambiants (Clemis JD, Ballad WJ, Killion MC 1986; Berger and Killion, 1989), une réduction de l'atténuation interaurale par conduction aérienne et donc une diminution des transferts transcrâniens grâce à une insertion profonde (M.C. Killion, L.A. Wilber et G.I. Gudmundsen, 1985) et une référence de coupleur réduite à 2cc, ce qui diminue les sources d'erreur.

Les inserts présentent également des limites qui incluent des problèmes potentiels lors de l'insertion en présence de cérumen dans le conduit auditif externe, une diminution de l'intensité maximale possible par rapport au casque, une fiabilité réduite de l'obturation totale du conduit auditif externe par le bouchon de mousse, surtout dans les cas de conduits auditifs sinueux. Une étude menée par N. MAUDET en 2015 suggère que les scores d'intelligibilité vocale sont en faveur du casque par rapport aux inserts en raison de la modification du gain naturel de l'oreille.

L'utilisation de l'unité de mesure en audiométrie (dB HL) peut entraîner des erreurs de conversion en dB SPL en l'absence de mesures telles que le RECD ou le REDD. En effet, la référence du coupleur est de 2cc alors que le volume résiduel du conduit auditif après l'insertion de l'insert est souvent inférieur à cette valeur.

## IV- Transformation des seuil HL/SPL et méthodologie d'appareillage

L'unité utilisée pour les audiométries est le Décibel HL (Hearing Level), or, pour mesurer physiquement un son, nous utilisons ce qu'on appelle le Décibel SPL (Sound Pressure Level).

Le Décibel HL a été instauré pour faciliter la lecture des audiogrammes. Nous n'avons pas la même sensibilité dans les fréquences graves, médiums ou aiguës mais pour comparer plus facilement les surdités, on a ramené cette sensibilité à une droite ou le zéro dB HL représente le niveau zéro de référence qui a été évalué selon la moyenne d'un grand nombre de jeunes adultes considérés comme ayant une audition normale. Le 1000 Hz sert de référence car c'est à cette fréquence uniquement que le 0 dB HL coïncide quasiment avec le 0 dB SPL.

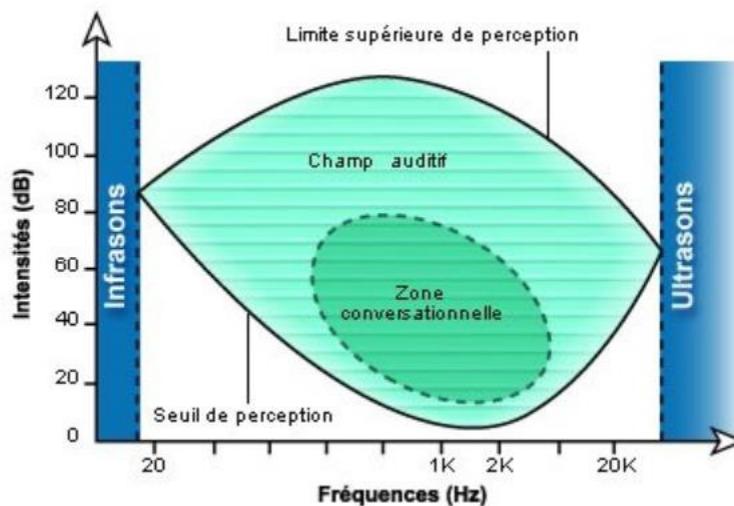


Figure 11 : Champ auditif pour un sujet normal, en dB SPL

L'interrelation entre les performances acoustiques des aides auditives et les seuils audiométriques n'est appréciable avec rigueur que si l'échelle et le point de référence

sont les mêmes. Saunders, G. H., et Morgan, D. e. ont mis en évidence qu'il existe alors une contradiction dans la pratique du métier à recueillir des seuils en dB HL et à régler des aides auditives en dB SPL en fonction de ces seuils. Il apparaît ainsi évident que ce qui intéresse un professionnel de la correction auditive est la valeur des seuils en dB SPL au niveau du tympan, c'est-à-dire le SPLogramme.

### **a. La méthode DSL (Desired Sensation Level)**

Le terme SPLogramme désigne un audiogramme exprimé en décibels SPL, mesuré dans le conduit auditif. Il a été introduit dans les années 90 par des chercheurs (Seewald RC, Zelisko DL) dans le but de comparer les seuils auditifs des patients avec le gain fourni par les aides auditives. Ce terme est apparu lors de l'avènement de la méthodologie DSL. Le SPLogramme est utilisé pour relever les paramètres nécessaires à l'application de la méthode DSL.

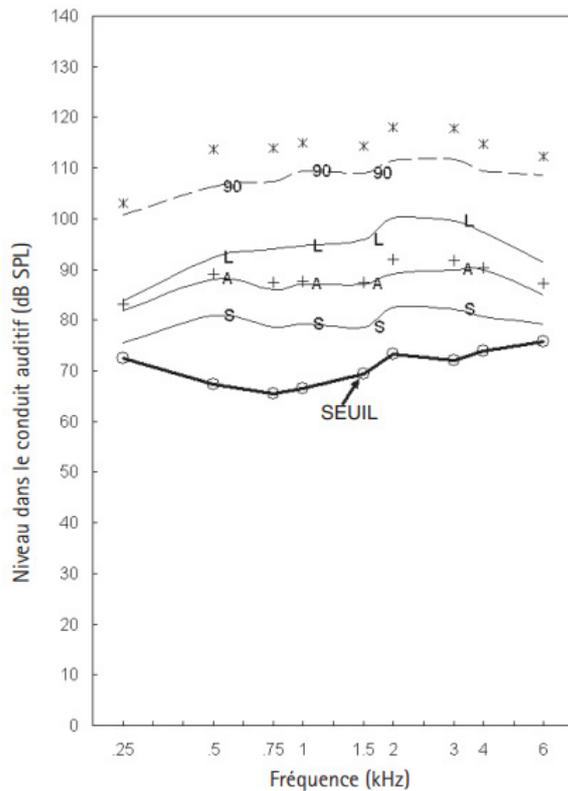


Figure 12 : SPLogram représentant les résultats d'appareillage d'un enfant, au niveau de son conduit auditif (en dB SPL) en fonction de la fréquence (en kHz).

Les seuils auditifs de l'enfant (cercles) et les limites supérieures de confort (astérisques) délimitent le champ dynamique résiduel à appareiller. Le niveau de sortie mesuré de la parole conversationnelle moyenne (A) est représenté et comparé aux prescriptions DSL (signes +). Les niveaux de sortie mesurés pour la voix faible (S) et pour la voix forte (L) sont également représentés, de même que le niveau maximal de sortie de l'appareil, mesuré pour 90 dB d'entrée (90).

La méthodologie DSL utilise le seuil d'audition au tympan en dB SPL, auquel elle ajoute le niveau de sensation désirée DSL, pour déterminer la réponse appareillée in vivo. L'utilisation des seuils d'inconfort de la méthode DSL est fondamentale ; en leur absence, ces seuils sont estimés à partir de l'étude menée par Pascoe. Une cible de limitation de sortie à bande large (BOLT) positionne les crêtes vocales 13 dB en dessous des seuils d'inconfort. La version 5.0 (DSL v5) intègre les niveaux d'écoute préférés des adultes et des enfants, permettant ainsi deux prescriptions différenciées. Le niveau d'écoute préféré des enfants (DSL m i/o) est en moyenne supérieur de 8 dB à celui des adultes. L'étude permet également de définir un niveau d'expérience pour les adultes nouvellement appareillés. Les modifications prennent en compte les dernières données en termes de correction d'événements, de surdité de transmission et de binauralité. La prescription adulte est alignée sur les niveaux d'écoute préférés des adultes, et les taux de compression multicanaux sont ajustés pour assurer une

audibilité confortable des indices vocaux.

## **b. La méthode NAL**

NAL-NL1, une formule développée par National Acoustic Laboratories, était conçue à la fois de manière théorique et empirique dans le but de maximiser la compréhensibilité de la parole pour divers niveaux sonores, tout en maintenant l'intensité globale de la parole à un niveau normal ou inférieur. En s'appuyant sur des modèles actualisés et en apportant quelques révisions à cette formule, une nouvelle version nommée NAL-NL2 a été développée. Des ajustements supplémentaires, basés sur des données empiriques issues d'études ayant utilisé la formule NAL-NL1 comme référence, ont également été intégrés à la dérivation de la formule NAL-NL2.

Les données empiriques ont montré que :

- Les utilisatrices d'aides auditives ont tendance à préférer un gain global moindre que les utilisateurs masculins.
- Les nouveaux utilisateurs d'aides auditives avec une perte auditive plus que légère préfèrent généralement un gain plus faible que les utilisateurs expérimentés et peuvent nécessiter jusqu'à deux ans pour s'adapter aux niveaux de gain théoriquement requis.
- Les utilisateurs d'aides auditives, qu'ils soient unilatéraux ou bilatéraux, ont tendance à préférer des niveaux de gains moyens qui varient moins que ceux estimés par le facteur de correction bilatéral.
- Les adultes préfèrent en moyenne un gain moindre que les enfants.
- Les personnes souffrant d'une perte auditive sévère à profonde ont une préférence pour des taux de compression inférieurs à ceux prévus lorsqu'elles

sont équipées d'une compression à action rapide.

## IV- Le RECD (Real Ear to Coupleur Difference)

La grande majorité des praticiens réalise des audiométries en dB HL. Si aucune mesure complémentaire n'est mise en œuvre, la conversion des seuils HL en leur équivalent SPL dans le conduit s'appuiera sur des moyennes statistiques ou des normes : elle ne prendra alors pas en compte les variabilités interindividuelles en termes de volume de conduit et d'impédance d'oreille moyenne. De nombreux auteurs ont évoqué les avantages de spécifier les données audiométriques en RESPL (« Real Ear SPL » : niveau SPL dans l'oreille réelle, en fond de conduit) (Zelisko et al, 1992).

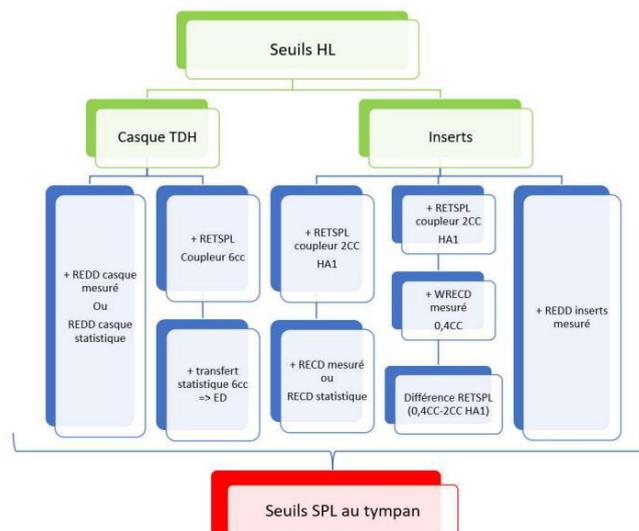


Figure 13 : des seuils HL aux seuils SPL - les fonctions de transfert

Dans le cas où l'audiométrie est réalisée aux inserts, les calculs de conversion (figure 13) peut être :

$$\text{dB (RESPL)} = \text{dB (HL)} + \text{RETSPL} + \text{RECD}$$

Le **RETSPL** (Reference Equivalent Treshold Sound Pressure Level) correspond aux valeurs de la norme ISO 389 et ANSI 3.6, permettant de passer d'un niveau HL au niveau SPL au « coupleur » correspondant pour un transducteur donné. Pour les inserts, le volume du coupleur 2 cc est censé représenter la cavité résiduelle entre le tympan et l'écouteur quand le matériel est placé dans les oreilles du patient.

RETSPL							
TRANSDUCTEUR		Casque TDH 39	Casque TDH 49-	Casque TDH	Inserts EAR-3A/5A		
COUPLEUR		6CC NBS-9A		6CC IEC 318	2CC HA-2 IEC 126	2CC HA-1	Simulateur d'oreille occluse IEC 711
FREQUENCES	125	45,0	47,5	45,0	26,0	26,5	28,0
	250	25,5	26,6	27,5	14,0	14,5	17,5
	500	11,5	13,5	13,5	5,5	6,0	9,5
	750	8,0	8,5	9,0	2,0	2,0	6,0
	1000	7,0	7,5	7,5	0,0	0,0	5,5
	1500	6,5	7,5	7,5	2,0	0,0	9,5
	2000	9,0	11,0	9,0	3,0	2,5	11,5
	3000	10,0	9,5	11,5	3,5	2,5	13,0
	4000	9,5	10,5	12,0	5,5	0,0	15,0
	6000	15,5	13,5	16,0	2,0	-2,5	16,0
8000	13,0	13,0	15,5	0,0	-3,5	15,5	

Figure 14 : Valeurs RETSPL en fonction du transducteur et du coupleur correspondant. Selon la Norme ISO 389 [32] et ANSI 3.6 [33] [34]

Le **RECD** (Real Ear to Coupler Difference) : correspond à la différence en décibel pour chaque fréquence, entre le niveau SPL mesuré à proximité du tympan et le niveau SPL mesuré au coupleur 2cc pour un même niveau d'émission.

$$\text{RECD} = \text{dB SPL (CAE)} - \text{dB SPL (Coupleur)}$$

Les valeurs du RECD peuvent être statistiques (établies par M.P. Bogatto & Al. en 2002) [35] ou mesurées.

Dans un premier temps, cette mesure est une « fonction de transfert » pour passer des seuils liminaires en dB HL aux seuils liminaires en dB SPL.

Dans un second temps, le RECD est pris en compte pour calculer les valeurs cibles d'amplification prédites par certaines formules de pré réglage.

Il nous semblait donc intéressant d'observer l'influence du RECD mesuré par rapport au RECD théorique sur les cibles de gain des formules de pré réglages NAL NL2 et DSL v5.

# **PARTIE EXPERIMENTALE**

## **I- Objectif de l'étude**

L'objectif de cette étude est d'examiner l'influence du RECD sur la précision des réglages prescrits à l'aide des méthodologies DSL V5 et NAL NL2. Plus précisément, nous cherchons à déterminer si l'intégration de la mesure RECD dans le processus de prescription permet d'obtenir des réglages plus précis et plus personnalisés des appareils auditifs, en comparant les résultats obtenus avec les RECD théorique des méthodologies DSL V5 et NAL NL2. Pour ce faire, nous avons choisi de mener des tests sur trois profils d'audiométrie moyenne, tels que définis par Bisgaard et Al (audiométrie moyenne expliqué plus haut). Ces profils incluent des pertes auditives légères (N2), moyennes (N4) et sévères (N6), représentant une gamme variée de degrés de perte auditive. L'objectif est d'évaluer la capacité du RECD à améliorer la pertinence des réglages d'appareils auditifs dans diverses situations auditives, en tenant compte de la variabilité individuelle de la réponse acoustique de l'oreille. Cette étude vise à apporter des éclaircissements sur la pertinence de l'utilisation du RECD dans les réglages à l'aide de la mesure in vivo.

## **II- Matériel et méthode**

### **a. Population étudiée**

L'échantillon de cette étude comprenait 25 participants, dont la composition était diversifiée. Parmi eux, certains étaient des patients ayant été testés lors de consultations de routine, tandis que d'autres étaient des étudiants ayant participé spécifiquement à l'étude. Il convient également de noter la présence de deux membres

de l'équipe du centre Amplifon, qui ont participé en tant que volontaires. On a pu tester et retenir 44 oreilles sur ces 25 sujets. L'âge des participants variait de 19 ans à 89 ans, avec une moyenne d'âge de 47,85 ans et un écart type de 27,2 ans. Cette démarche a été entreprise pour assurer la représentativité et la cohérence de l'échantillon par rapport aux objectifs de recherche.

#### - **Critères d'exclusion**

La présence d'un bouchon de cérumen, d'une aplasie majeure ou mineure, d'une perforation tympanique, ainsi que d'une otite externe ou moyenne qui contrarierait l'insertion du tube sonde et/ou l'insertion de la mousse insert. De plus, les cavités d'évidement sont également exclues car elles pourraient fausser les résultats en fournissant des mesures démesurées par rapport à un conduit auditif non opéré.

### **b. Matériel utilisé**

Notre étude s'est déroulée dans le laboratoire Amplifon États-Unis à Lyon. Nous disposons de l'ensemble du matériel de mesure nécessaire. A savoir :

- Un otoscope mini 3000 de marque Heine
- Des écouteurs insert ER-3A
- Des Soundlink embouts mousse taille S, M et L pour s'adapter aux diamètres de CAE
- La chaîne de mesure Aurical du fabricant Natus avec le caisson de mesure permettant de réaliser la mesure au coupleur 2cc HA1

- Le collier FreeFIT et le module PMM du logiciel Otosuite pour mesurer le RECD
- Le coupleur 2cc HA1
- Les sondes permettant la mesure in vivo

Les tests ont été réalisés dans une cabine insonorisée, conforme aux normes en vigueur établies par le décret n°2004-802 du 29 juillet 2004. Cette norme stipule que le niveau sonore à l'intérieur de la cabine ne doit pas dépasser 40 dB A, et que le temps de réverbération ne doit pas excéder 0,5 seconde à la fréquence de 500 Hz.

### **III- Protocole expérimentale**

Les sujets étaient reçus dans la cabine audiométrique et la démarche de l'étude, l'objectif et le déroulement du test étaient expliqués

La passation du test complet prenait environ une demi-heure et de cette manière :

- Otoscopie :

Avant de commencer les tests, nous avons vérifié que le patient ne présentait pas de critères d'exclusion définis préalablement.

Cette observation permettait également de choisir le diamètre de mousse adapté au diamètre du méat externe afin d'obtenir une obturation correcte (éviter les fuites acoustiques).

- Réalisation de l'audiométrie définie par Bisgaard et Al aux inserts

Nous avons opté pour l'utilisation des mêmes audiogrammes pour chaque patient afin de ne considérer que la valeur variable du RECD dans le calcul des cibles.

Les audiogrammes de Bisgaard et al ont été logiquement sélectionnés. Nous avons choisi des audiogrammes avec perte légère (N2), moyenne (N4) et sévère (N6)

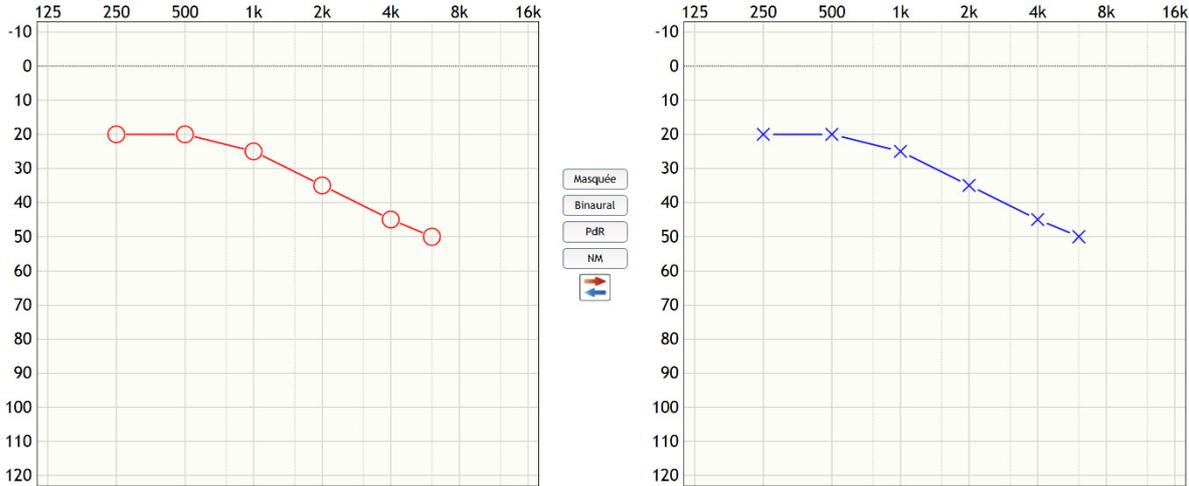


Figure 15 : audiogrammes standards N2 définis par Bisgaard et al

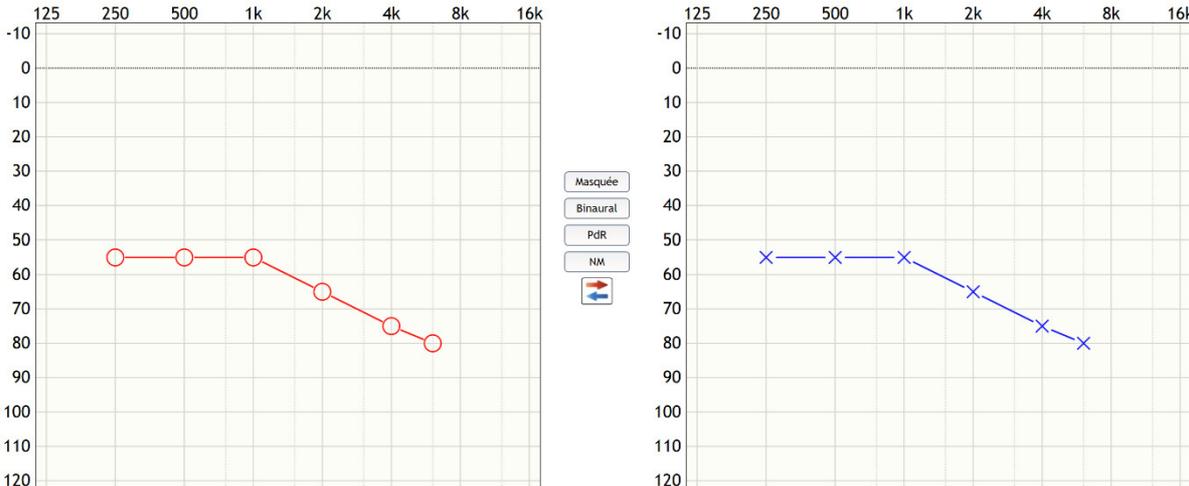


Figure 16 : audiogrammes standards N4 définis par Bisgaard et al

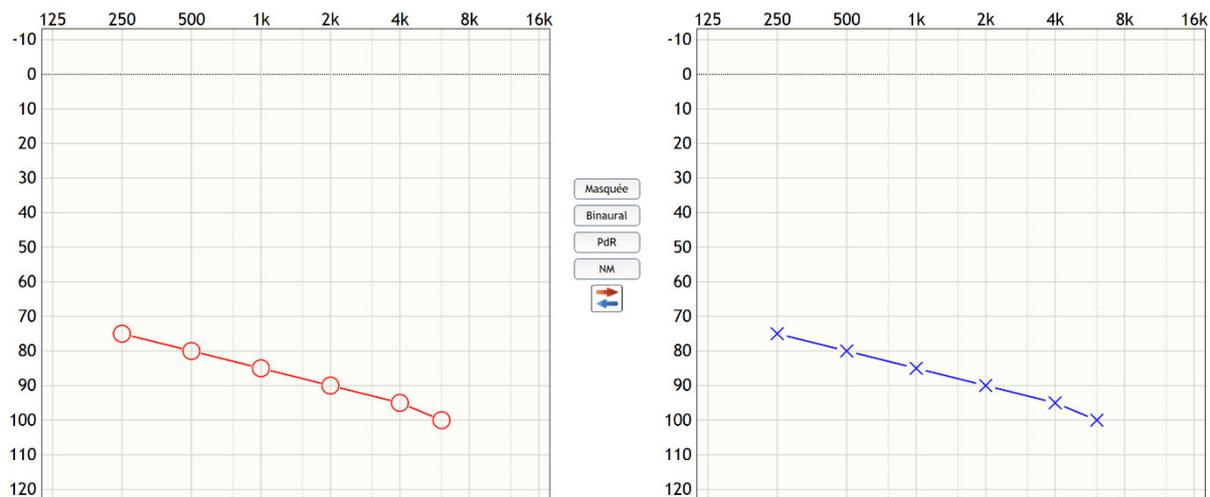


Figure 17 : audiogrammes standards N6 définis par Bisgaard et al

- Calibration des tubes sondes

Il est crucial de procéder à cette vérification afin de s'assurer que les sondes ne soient ni bouchées ni trouées, ce qui pourrait fausser la mesure.

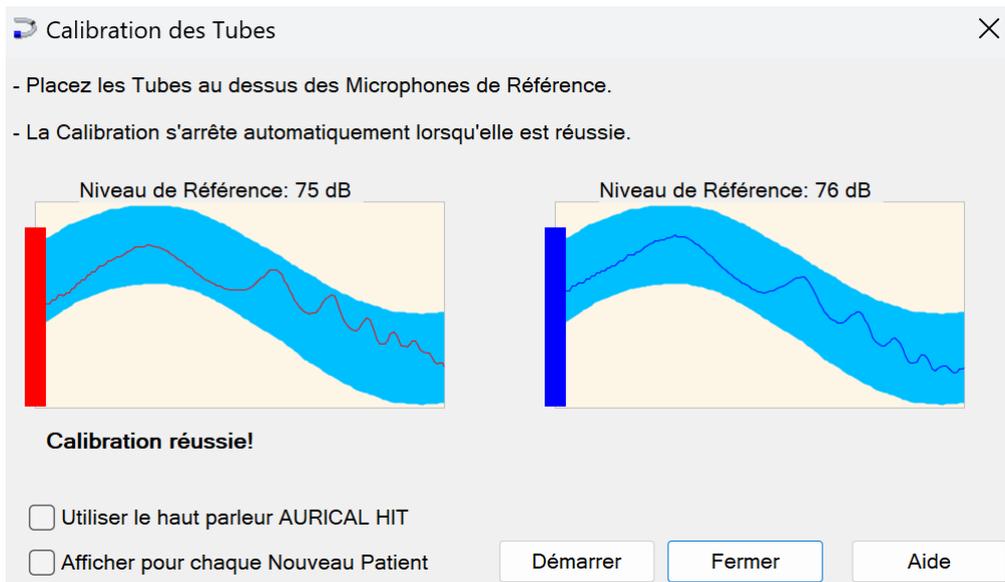


Figure 18 : Calibration des tubes sondes sur le logiciel Otosuite de Natus.

- Mesures de la réponse au coupleur

La mesure de la réponse au coupleur 2cc a été réalisée avec le coupleur HA1 plutôt que le HA2, car ce dernier est considéré comme plus fiable pour la mesure du RECD (CHATEAU, 2015). Les mousses ont été privilégiées par rapport aux embouts sur mesure, car elles offrent une meilleure étanchéité et une praticité accrue lors des tests sur un grand nombre de patients.



Figure 19 : Mesure réponse coupleur HA1 avec embout mousse

- Insertion des sondes in vivo
- Mesure du REUG (Real Ear Unaided Gain)

Cela permet la vérification de la bonne insertion de la sonde (la courbe coupe l'axe des abscisses entre 6000Hz et 8000 Hz)

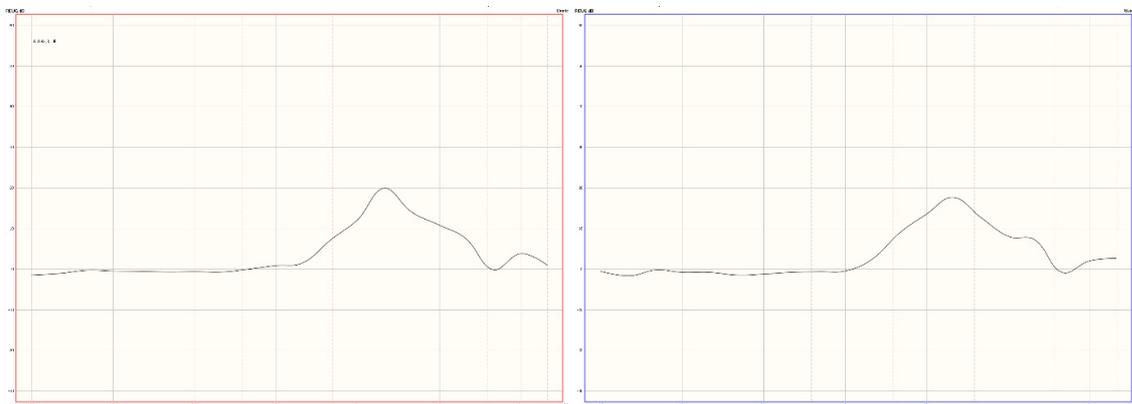


Figure 20 : exemple du REUG oreille droite et gauche sur le logiciel Otosuite de Natus

- Préparation et insertion des mousses

Il est crucial d'insérer complètement les mousses dans le conduit auditif pour garantir une étanchéité adéquate et une mesure fiable du RECD (particulièrement dans les fréquences grave). Il est impératif de faire attention à ne pas déplacer les sondes en les enfonçant trop profondément dans le conduit auditif ou en les ressortant.

- Mesure de la réponse de l'oreille

- Visualisation du RECD et enlèvement des sondes et des mousses

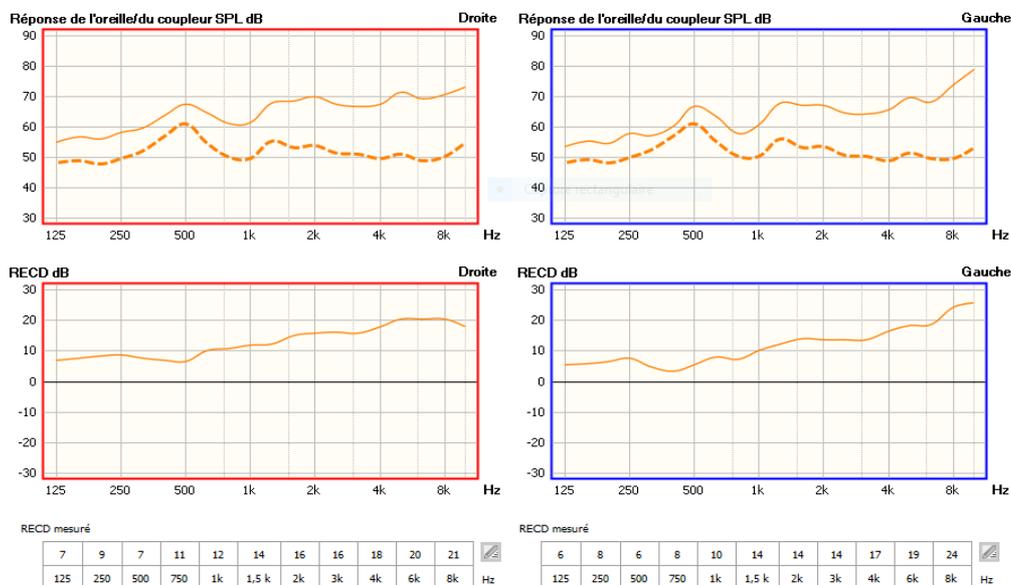


Figure 21 : Exemple de mesure du RECD sur le logiciel Otometrics de Natus

(Sur les graphiques du haut nous avons la réponse du coupleur en pointillé et la réponse de l'oreille en trait plein. Sur les graphiques du bas nous avons la différence des 2 réponses qui nous donne le RECD)

- Visualisation et récupération des cibles REAR (Real Ear Aided Response) en dB SPL de DSL V5 et NAL NL2 avec RECD mesuré et RECD théorique.

Pour les paramètres des cibles, nous avons décidé d'opter pour l'utilisation du REUG théorique afin d'éviter qu'il n'impacte les cibles, en particulier avec la méthode NAL-NL2 qui en tient compte. De cette manière les cibles avec RECD théorique restent identiques quel que soit l'oreille.

Figure 22 : Paramètres de la cible NAL NL2 choisis pour chaque oreille et chaque audiométrie

Figure 23 : Paramètres de la cible DSL V5 choisis pour chaque oreille et chaque audiométrie

- Changement de l'audiométrie.
- Visualisation et récupération des nouvelles cibles REAR en dB SPL pour DSL V5 et NAL NL2.

## IV- Résultats

Pour chaque méthode et chaque niveau de perte auditive, ainsi que pour chaque fréquence, nous avons effectué un test de Student sur un seul échantillon pour déterminer si les moyennes des cibles avec le RECD mesuré diffèrent des valeurs des cibles avec le RECD théorique. Avant de procéder à ce test, nous avons vérifié la normalité de chaque échantillon. En cas de doute sur la normalité, nous avons opté pour un test des rangs signés de Wilcoxon, alternative non paramétrique au test de Student. Nous avons également calculé l'étendue de chaque cible avec le RECD mesuré car, outre la moyenne, l'étendue avec les valeurs maximale et minimale est une donnée intéressante pour évaluer l'impact du RECD sur les cibles de gain.

Nous rappelons que pour cette expérience expérimentale nous avons pu tester 44 oreilles sur 25 sujets différents.

## a. Méthodologie DSL V5

### 1- Audiogramme N2, perte légère

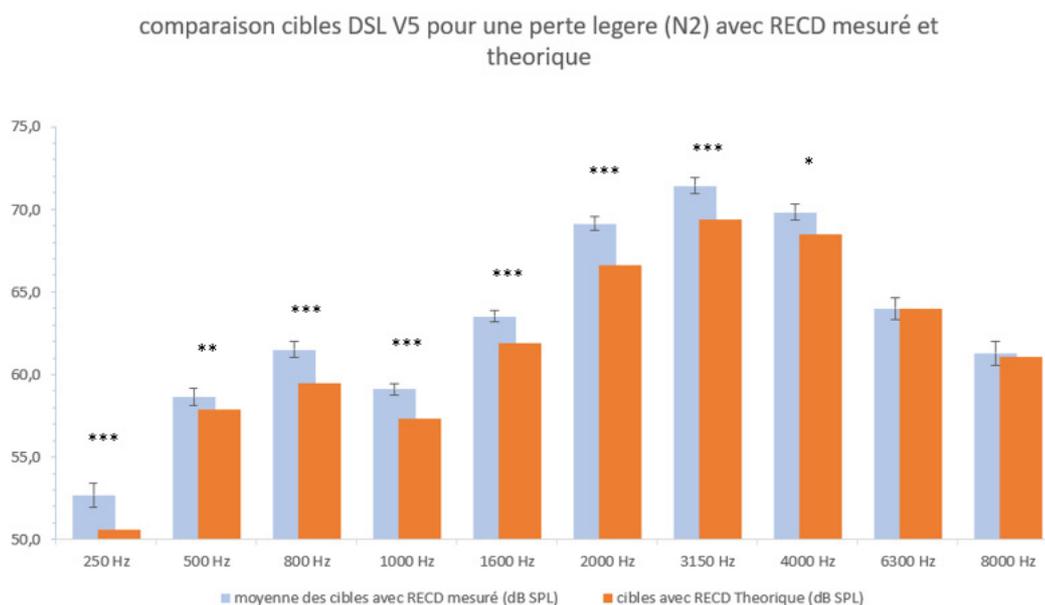


Fig 24 : Cibles DSL V5 en dB SPL avec RECD mesurée et RECD statistique en fonction des fréquences

Fréquence (Hertz)	250	500	800	1000	1600	2000	3150	4000	6300	8000
Cible REAR SPL RECD théorique (dB SPL)	50,6	57,9	59,5	57,3	61,9	66,6	69,4	68,5	64	61,1
valeur maximum des cibles avec RECD mesuré (dB SPL)	57,2	62,4	64,5	61,5	66,4	72	75,4	72,1	67,2	64,6
valeur minimum des cibles avec RECD mesuré (dB SPL)	47,9	55,7	56,8	56,7	60,8	66,4	68,9	66,3	56,7	53,1
étendue cibles avec RECD mesuré	9,3	6,7	7,7	4,8	5,6	5,6	6,5	5,8	10,5	11,5
Plus grande différence négative (dB SPL)	-2,7	-2,2	-2,7	-0,6	-1,1	-0,2	-0,5	-2,2	-7,3	-8
Plus grande différence positive (dB SPL)	6,6	4,5	5	4,2	4,5	5,4	6	3,6	3,2	3,5

Fig 25 : Tableau statistique de comparaison en dB SPL des cibles DSLV5 avec RECD mesurée et RECD statistique en fonction des fréquences

Nous observons une différence statistique significative entre les cibles avec le RECD mesuré et le RECD théorique sur toutes les fréquences, à l'exception des fréquences très aiguës de 6300 Hz et 8000 Hz. Bien que cette différence ne soit pas statistiquement significative selon le test de Student, il est remarquable que sur ces deux fréquences, l'étendue  $y$  est la plus importante avec des différences allant

respectivement de -7,3 dB SPL a +3,2 dB SPL et -8 dB SPL a +3,5 dB SPL par rapport au cibles théorique.

## 2- Audiogramme N4, perte moyenne

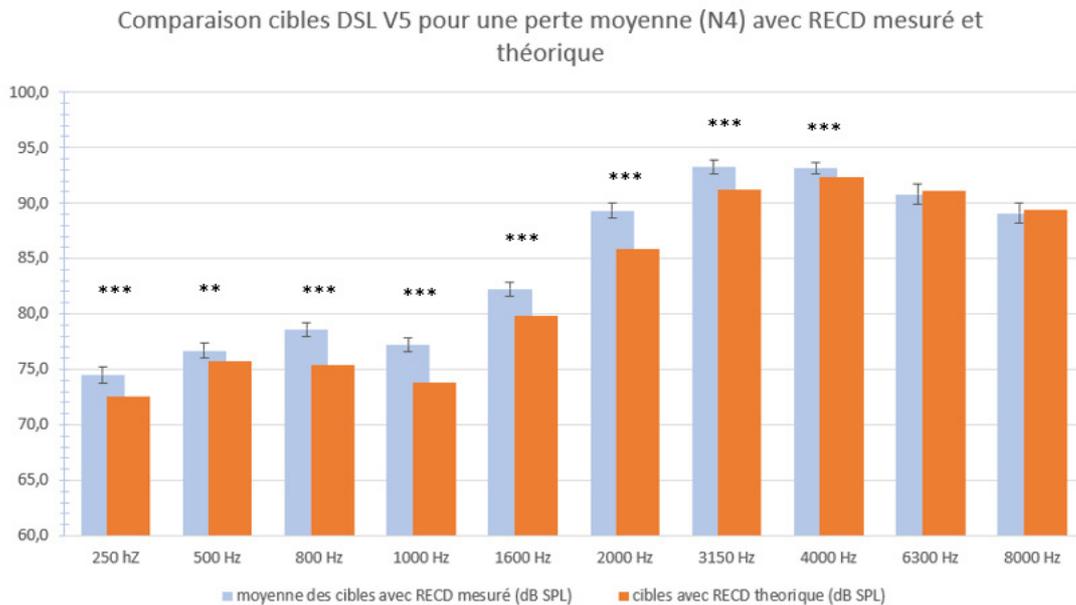


Fig 26 : Cibles DSL V5 en dB SPL avec RECD mesurée et RECD statistique en fonction des fréquences

Fréquence (Hertz)	250	500	800	1000	1600	2000	3150	4000	6300	8000
Cible REAR SPL RECD théorique (dB SPL)	72,6	75,7	75,4	73,8	79,8	85,9	91,2	92,4	91,1	89,4
valeur maximum des cibles avec RECD mesuré (dB SPL)	77,8	80,9	82,5	82,7	86,6	93,5	96,7	95,7	97,7	96,2
valeur minimum des cibles avec RECD mesuré (dB SPL)	68,7	73	75,1	73,3	78,3	85,1	89,6	88,9	80,5	78,3
etendue cibles avec RECD mesuré (dB SPL)	9,1	7,9	7,4	9,4	8,3	8,4	7,1	6,8	17,2	17,9
Plus grande différence négative (dB SPL)	-3,9	-2,7	-0,3	-0,5	-1,5	-0,8	-1,6	-3,5	-10,6	-11,1
Plus grande différence positive (dB SPL)	5,2	5,2	7,1	8,9	6,8	7,6	5,5	3,3	6,6	6,8

Fig 27 : Tableau statistique de comparaison en dB SPL des cibles DSLV5 avec RECD mesurée et RECD statistique en fonction des fréquences

De la même manière qu'avec une perte légère, nous constatons une différence significative entre les cibles avec le RECD mesuré et le RECD théorique sur toutes les fréquences, sauf aux fréquences très aiguës de 6300 Hz et 8000 Hz. Bien que cette différence ne soit pas statistiquement significative selon le test de Student, il est remarquable que sur ces deux fréquences, l'étendue y est la plus importante avec des différences allant respectivement de -10 dB SPL à +6,6 dB SPL et -11,1 dB SPL à +6,8 dB SPL par rapport aux cibles théoriques.

### 3- Audiogramme N6, perte sévère

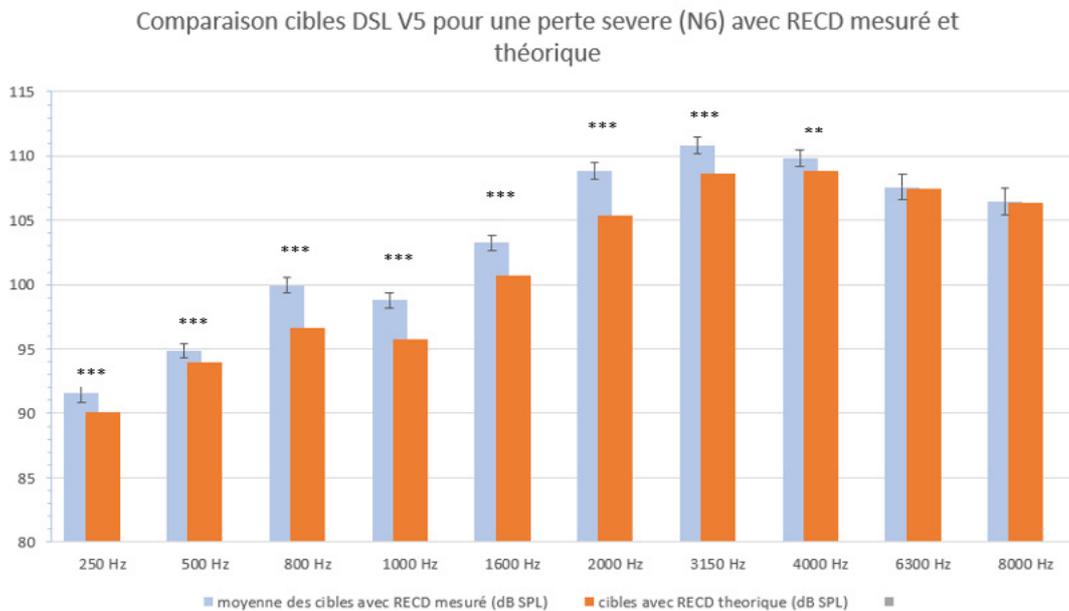


Fig 28 : Cibles DSL V5 en dB SPL avec RECD mesurée et RECD statistique en fonction des fréquences

Fréquence (Hertz)	250	500	800	1000	1600	2000	3150	4000	6300	8000
Cible REAR SPL RECD theorique (dB SPL)	90,1	94	96,6	95,8	100,7	105,4	108,6	108,8	107,5	106,4
valeur maximum des cibles avec RECD mesuré (dB SPL)	94,4	98,3	104,5	104,7	107,8	113,2	114,4	113,3	116,3	115,4
valeur minimum des cibles avec RECD mesuré (dB SPL)	86	91,9	96,4	95,3	99,4	104,6	107,1	105	97,6	96
etendue cibles avec RECD mesuré (dB SPL)	8,4	6,4	8,1	9,4	8,4	8,6	7,3	8,3	18,7	19,4
Plus grande difference negative (dB SPL)	-4,1	-2,1	-0,2	-0,5	-1,3	-0,8	-1,5	-3,8	-9,9	-10,4
Plus grande difference positive (dB SPL)	4,3	4,3	7,9	8,9	7,1	7,8	5,8	4,5	8,8	9

*Fig 29 : Tableau statistique de comparaison en dB SPL des cibles DSLV5 avec RECD mesurée et RECD statistique en fonction des fréquences*

Comme pour les pertes légère et moyenne, là encore, nous observons une différence significative entre les cibles avec le RECD mesuré et le RECD théorique sur toutes les fréquences, à l'exception des fréquences très aiguës de 6300 Hz et 8000 Hz. Bien que cette différence ne soit pas statistiquement significative selon le test de Student, il est remarquable que sur ces deux fréquences, l'étendue des valeur cibles avec RECD mesuré est le plus important, avec des différences allant respectivement de -9,9 dB SPL a +8,8 dB SPL et -10,4 dB SPL a +9 dB SPL par rapport au cibles théorique.

#### 4- Comparaison des variations des cibles entre les différentes audiométries

frequeces (Hz)	250	500	800	1000	1600	2000	3150	4000	6300	8000
ecart type N2 (dB SPL)	2,4	1,7	1,6	1,1	1,1	1,4	1,5	1,5	2,1	2,3
ecart type N4 (dB SPL)	2,4	2,1	2	2,1	2	2,2	2	1,7	3	3,1
ecart type N6 (dB SPL)	2,2	1,7	2	2	2	2,2	2	2,2	3,3	3,4

*Fig 30 : Ecart type des cibles DSL V5 avec RECD mesuré en fonction de fréquences et des audiogrammes*

frequeces (Hz)	250	500	800	1000	1600	2000	3150	4000	6300	8000
Difference moyenne N2 (dB SPL)	2,1	0,8	2,0	1,8	1,6	2,5	2,0	1,3	0,0	0,2
Difference moyenne N4 (dB SPL)	1,9	1,0	3,2	3,4	2,4	3,4	2,0	0,7	-0,3	-0,3
Difference moyenne N6 (dB SPL)	1,4	0,9	3,4	3,0	2,6	3,4	2,2	1,0	0,1	0,0

*Fig 31 : Différences moyennes des cibles DSL V5 avec RECD mesuré et statistique en fonctions des fréquences et des audiogrammes*

En comparant les écart types des cibles par fréquences et par audiogramme on remarque que la dispersion est légèrement moins élevée à partir du 1000 Hz sur l'audiogramme N2 que sur les audiogrammes N4 et N6 qui, eux, semblent similaires. En effet, leurs écarts types tournent autour de 2 dB SPL pour les fréquences 250 Hz et 4000 Hz et autour de 3 dB SPL à partir de 6300 Hz. Tandis que pour la perte légère nous avons des écarts types entre 1 et 1,5 dB de 1000 à 4000 Hz et de 2,1 à 2,3 dB SPL pour les fréquences 6300 Hz et 8000 Hz.

De la même manière, on remarque que les différences moyennes des cibles avec RECD mesuré et RECD statistique sont plus élevées pour les audiogrammes N4 et N6 à partir du 800 Hz jusqu'au 2000 Hz mais elles sont semblables sur les autres fréquences. On constate que cette différence est proche de zéro pour les fréquences de 6300 Hz et 8000 Hz sur les trois audiogrammes, bien que nous ayons observé que cette plage présente l'étendue la plus élevée.

## a. Méthodologie NAL NL2

### 1- Audiogramme N2, perte légère

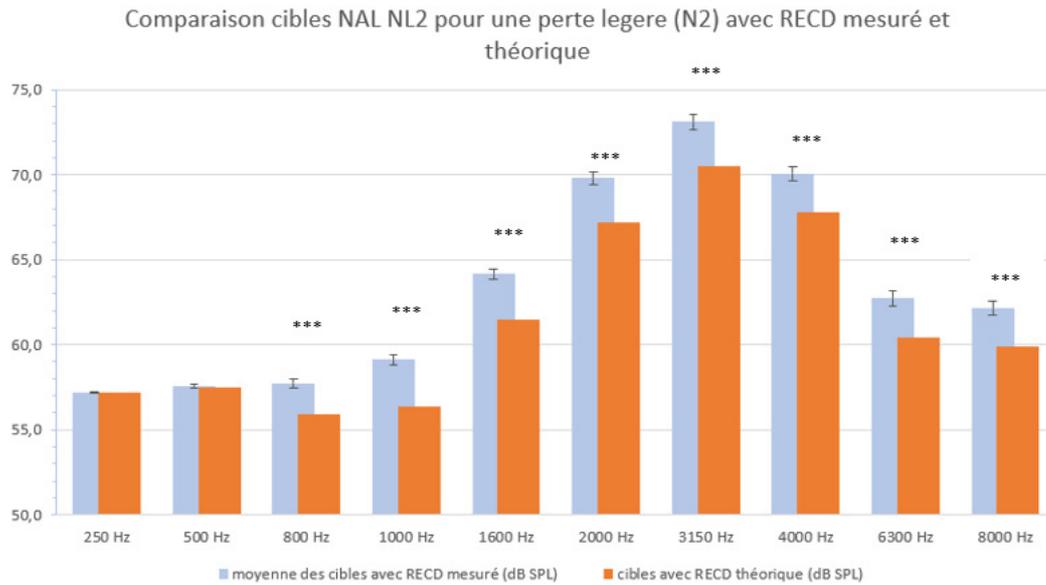


Fig 32 : Cibles NAL NL2 en dB SPL avec RECD mesurée et RECD statistique en fonction des fréquences

Fréquence (Hertz)	250	500	800	1000	1600	2000	3150	4000	6300	8000
Cible REAR SPL RECD théorique (dB SPL)	57,2	57,5	55,9	56,4	61,5	67,2	70,5	67,8	60,4	59,9
valeur maximum des cibles avec RECD mesuré (dB SPL)	57,6	58,9	60,3	61,5	66,4	72,1	75,8	72,7	66,6	64,3
valeur minimum des cibles avec RECD mesuré (dB SPL)	57,2	57,5	56,4	57,2	62	67,4	70,6	67	59	58,1
etendue cibles avec RECD mesuré (dB SPL)	0,4	1,4	3,9	4,3	4,4	4,7	5,2	5,7	7,6	6,2
Plus grande différence négative (dB SPL)	0	0	0,5	0,8	0,5	0,2	0,1	-0,8	-1,4	-1,8
Plus grande différence positive (dB SPL)	0,4	1,4	4,4	5,1	4,9	4,9	5,3	4,9	6,2	4,4

Fig 33 : Tableau statistique de comparaison en dB SPL des cibles NAL NL2 avec RECD mesurée et RECD statistique en fonction des fréquences

Contrairement à l'approche méthodologique DSL V5, nous observons une différence statistiquement significative entre les cibles NAL NL 2 avec RECD mesuré et les cibles

NAL NL 2 théoriques pour cette perte auditive, à l'exception des fréquences graves de 250 Hz et 500 Hz. Il est intéressant de noter que cette différence devient notable à partir de 800 Hz, et qu'elle augmente proportionnellement avec la fréquence. De plus, nous constatons que les cibles avec RECD mesuré sont généralement supérieures aux cibles théoriques, avec des valeurs négatives minimales.

## 2- Audiogramme N4, perte moyenne

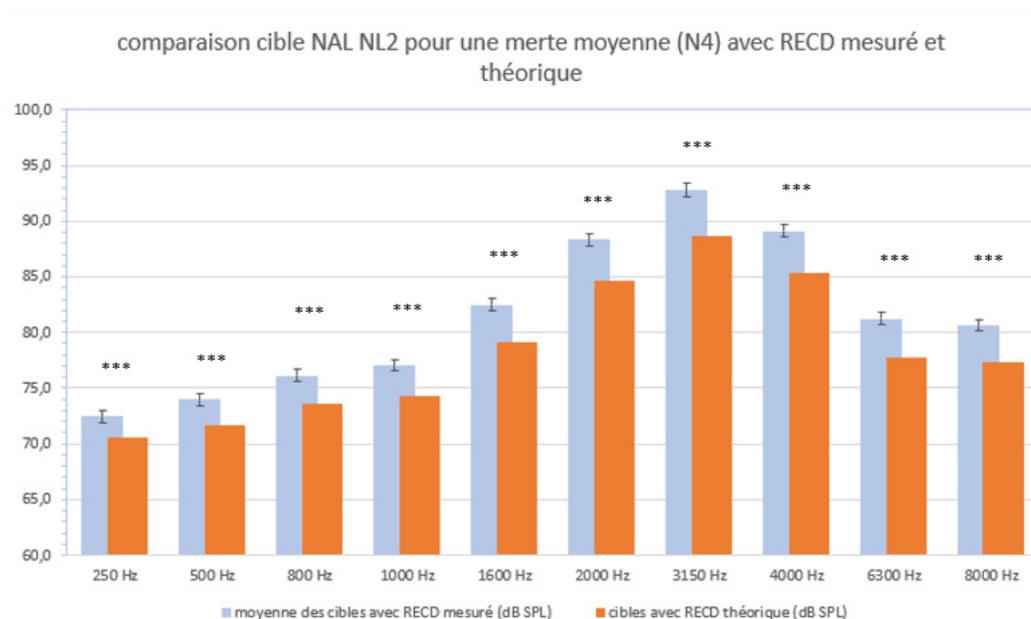


Fig 34 : Cibles NAL NL2 en dB SPL avec RECD mesurée et RECD statistique en fonction des fréquences

Fréquence (Hertz)	250	500	800	1000	1600	2000	3150	4000	6300	8000
Cible REAR SPL RECD theorique (dB SPL)	70,6	71,7	73,6	74,3	79,2	84,7	88,6	85,3	77,8	77,4
valeur maximum des cibles avec RECD mesuré (dB SP)	75,1	77,6	79,7	80,5	85,8	91,8	96,5	92,4	84,2	83,4
valeur minimum des cibles avec RECD mesuré (dB SPL)	69,2	70,3	72,7	73,7	79,2	85	89,3	85,6	77,7	77
etendue cibles avec RECD mesuré (dB SPL)	5,9	7,3	7	6,8	6,6	6,8	7,2	6,8	6,5	6,4
Plus grande difference negative (dB SPL)	-1,4	-1,4	-0,9	-0,6	0	0,3	0,7	0,3	-0,1	-0,4
Plus grande difference positive (dB SPL)	4,5	5,9	6,1	6,2	6,6	7,1	7,9	7,1	6,4	6

Fig 35 : Tableau statistique de comparaison en dB SPL des cibles NAL NL2 avec RECD mesurée et RECD statistique en fonction des fréquences

Selon l'analyse du test de Student, nous observons une différence statistiquement significative sur toutes les fréquences pour cette audiométrie, contrairement à la perte légère. Nous notons une variation constante sur l'ensemble des fréquences, avec une amplitude allant de 5,9 dB SPL à 7,3 dB SPL. Comme pour la perte légère, nous constatons que les cibles mesurées sont généralement supérieures aux cibles théoriques, caractérisées par de faibles différences négatives.

### 3- Audiogramme N6, perte sévère

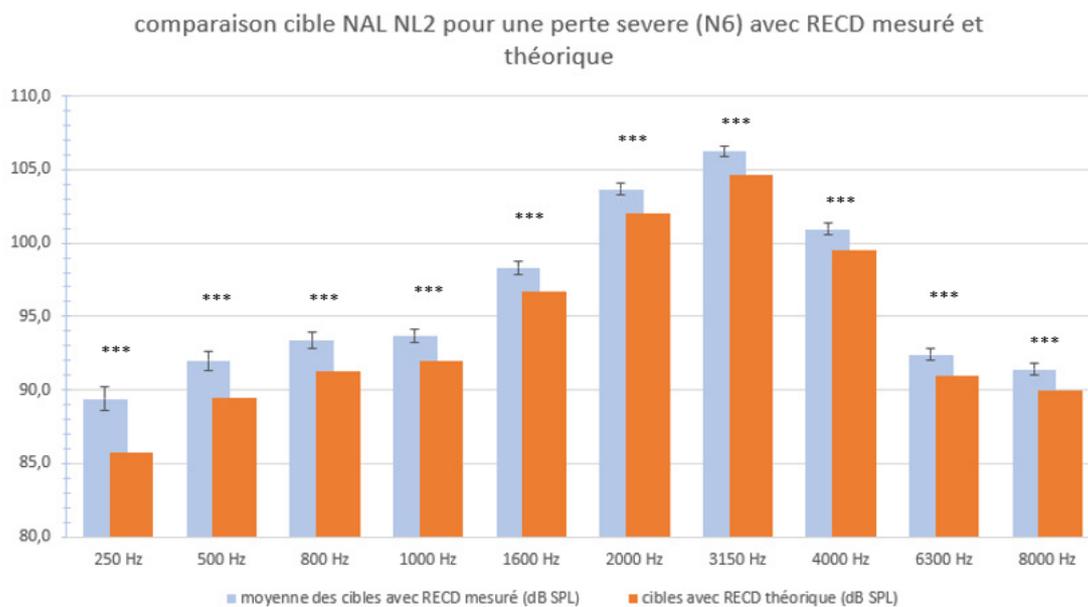


Fig 36 : Cibles NAL NL2 en dB SPL avec RECD mesurée et RECD statistique en fonction des fréquences

Fréquence (Hertz)	250	500	800	1000	1600	2000	3150	4000	6300	8000
Cible REAR SPL RECD theorique (dB SPL)	85,7	89,5	91,3	92	96,7	102	104,6	99,5	91	90
valeur maximum des cibles avec RECD mesuré (dB SPL)	94	96,3	97,3	97,4	101,6	106,7	108,4	102,7	94,4	93,5
valeur minimum des cibles avec RECD mesuré (dB SPL)	84,5	88,2	90	90,6	95,8	101,4	103,1	97	88,4	87,5
etendue cibles avec RECD mesuré (dB SPL)	9,5	8,1	7,3	6,8	5,8	5,3	5,3	5,7	6	6
différence maximale négative (dB SPL)	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-0,9	-0,6	-1,5	-2,5	-2,6	-2,5
différence maximale positive (dB SPL)	8,3	6,8	6	5,4	4,9	4,7	3,8	3,2	3,4	3,5

*Fig 37 : Tableau statistique de comparaison en dB SPL des cibles NAL NL2 avec RECD mesurée et RECD statistique en fonction des fréquences*

Grâce à l'analyse effectuée avec le test de Student, nous constatons une différence statistiquement significative sur l'ensemble des fréquences. Il est remarquable de noter une variation des cibles avec RECD mesuré, particulièrement prononcée sur les basses fréquences, allant de 250 à 800 Hz. Bien que la différence maximale négative entre les cibles avec RECD mesuré et les cibles théoriques soit plus élevée que pour les deux audiogrammes précédents, la moyenne de ces différences reste nettement positive par rapport aux valeurs cibles.

#### 4- Comparaison des variations des cibles entre les différentes audiométries

fréquences (Hz)	250	500	800	1000	1600	2000	3150	4000	6300	8000
ecart type N2 (dB SPL)	2,5	2,2	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
ecart type N4 (dB SPL)	1,7	2	1,8	1,7	1,8	1,8	1,9	1,8	1,7	1,7
ecart type N6 (dB SPL)	0,1	0,3	0,9	1	1,1	1,2	1,4	1,4	1,5	1,4

*Fig 38 : Ecart type des cibles NAL NL2 avec RECD mesuré en fonction de fréquences et des audiogrammes*

frequeces (Hz)	250	500	800	1000	1600	2000	3150	4000	6300	8000
Difference moyenne N2 (dB SPL)	0	0,1	1,8	2,7	2,6	2,6	2,6	2,3	2,3	2,2
Difference moyenne N4 (dB SPL)	1,9	2,3	2,5	2,8	3,3	3,6	4,2	3,8	3,5	3,2
Difference moyenne N6 (dB SPL)	3,7	2,5	2	1,7	1,6	1,7	1,6	1,4	1,4	1,4

*Fig 39 : Différences moyennes des cibles NAL NL2 avec RECD mesuré et statique en fonctions des fréquences et des audiogrammes*

La dispersion des cibles Nal NL 2 ne varie pas beaucoup en fonction de fréquences. En effet, pour l'audiométrie N2, on observe qu'il décroît de 250 Hz à 2000 Hz en passant d'un écart type de 2,5 dB SPL a 1,3 dB SPL puis reste constant jusqu'à 8000 Hz. Pour l'audiométrie N4, les écart types sont plutôt stables en fonction des fréquences allant de 1,7 dB SPL A 2 dB SPL. Tandis que pour l'audiométrie N6, a l'inverse de l'audiométrie N2, les écarts types croit entre 250 Hz et 3150 Hz allant de 0,1 dB SPL a 1,4 dB SPL puis restent stables. On peut cependant constater qu'on retrouve une dispersion sensiblement pareille entre les trois audiogrammes à partir de 1000 Hz jusqu'à 8000 Hz

La perte légère présente une différence moyenne entre cible avec RECD mesuré et statistique nul sur le 250 Hz et 500 Hz puis varie de 1,8 à 2,7 dB SPL entre 1000 Hz et 8000 Hz. Pour la perte moyenne, la différence moyenne croit de 1,9 à 4,2 dB SPL entre 250 Hz et 3150 Hz puis décroît de 3,8 à 3,2 dB SPL entre 4000 Hz et 8000 Hz. Les différences moyennes pour la perte sévère sont plus élevées pour les basses fréquences. En effet, elles décroient de 3,7 à 2 dB SPL de 250 Hz à 1000 Hz puis oscille entre 1,6 et 1,7 dB SPL jusqu'à 3150 Hz et enfin stagnent à 1,4 dB SPL à partir de 4000 Hz.

C'est donc sur l'audiométrie N4, qui correspond à la perte moyenne, qu'on observe les plus grandes différences hormis sur les fréquences 250 et 500 Hz.



# DISCUSSION

## I- Analyse des Résultats

L'étude menée visait à évaluer l'influence de l'intégration de la mesure RECD dans le processus de prescription des aides auditives, en comparant les cibles de pré réglages des méthodologies DSL V5 et NAL NL2 avec un RECD mesuré aux cibles par rapport à un RECD théorique. Ces comparaisons ont été faites sur 3 audiométries différentes pour voir si cette influence pouvait varier en fonction des pertes auditives.

### a- Influence du RECD sur la méthodologie DSL V5

Lorsque le RECD est pris en compte de manière statistique, les cibles de pré réglages demeurent constantes, tandis que leur variabilité est observée lorsque le RECD est mesuré directement. Les résultats des tests révèlent des différences significatives entre les cibles avec le RECD théorique et celles avec le RECD mesuré, notamment jusqu'à la fréquence de 6300 Hz et cela, sur l'ensemble des trois audiogrammes étudiés. Ces observations mettent en lumière l'importance de considérer l'influence du RECD, même sur les fréquences extrêmement aiguës (6300 Hz et 8000 Hz), où il peut significativement affecter la prescription des aides auditives.

Une tendance notable est que les moyennes des cibles avec le RECD mesuré sont supérieures aux cibles théoriques, suggérant ainsi que le RECD théorique utilisé dans

la méthodologie DSL V5 pourrait être inférieure aux valeurs réellement mesurées. Cette différence pourrait potentiellement être expliquée par une stratégie de DSL V5 visant à éviter la suramplification des aides auditives, en sous-estimant délibérément le RECD pour maintenir les niveaux d'amplification à des niveaux plus sûrs.

Il convient de noter que les écarts moyens entre les cibles avec le RECD mesuré et les cibles théoriques sont particulièrement marqués pour les pertes auditives moyennes et légères, contrairement aux pertes sévères où ils sont moins prononcés. En effet, ces différences moyennes peuvent atteindre jusqu'à +3,5 dB SPL en fonction des fréquences pour les pertes auditives moyennes et sévères, tandis qu'elles sont limitées à un maximum de +2,5 dB SPL pour les pertes légères. Cette observation souligne l'importance de prendre en considération l'impact du RECD quel que soit le degré de perte auditive, sachant qu'une oreille humaine normale peut percevoir des variations d'intensité allant de 1 dB à 3 dB, une sensibilité qui peut être accentuée chez les individus atteints de surdité. Ainsi, même de petites différences dans les réglages des aides auditives peuvent avoir un impact significatif sur la perception sonore et le confort des patients, justifiant ainsi une approche plus individualisée dans le processus de prescription des appareils auditifs.

## b- Influence du RECD sur la méthodologie NAL NL2

De manière similaire à la comparaison avec la méthodologie DSL V5, les cibles avec le RECD théorique restent identiques quel que soit l'individu. Les résultats des tests menés selon cette méthodologie révèlent des différences significatives entre les cibles avec le RECD mesuré et théorique, à l'exception des fréquences de 250 Hz et 500 Hz

pour la perte légère, où aucune différence n'est observée, ce qui peut s'expliquer par l'absence de perte auditive à ces fréquences.

De la même manière que pour la méthodologie DSL V5, on observe une moyenne des cibles avec le RECD mesuré plus élevée que les cibles théoriques avec la méthodologie NAL NL2. Cette observation suggère que NAL NL2 adopte probablement une stratégie similaire à DSL V5 en choisissant un RECD théorique plus bas afin de prévenir une sur-correction auditive.

Il est important de noter que les différences entre les cibles avec le RECD mesuré et théorique sont plus prononcées pour la perte auditive moyenne, définie par Bisgaard et Al., avec une variation allant de +1,9 dB SPL à +4,2 dB SPL en fonction des fréquences. En revanche, pour les pertes légères et sévères, ces différences sont moins marquées, oscillant entre 0 dB SPL et +2,8 dB SPL pour la perte légère, et de 1,3 dB SPL à 3,7 dB SPL pour la perte sévère.

En conclusion, les résultats obtenus avec la méthodologie NAL NL2 soulignent également l'importance de ne pas négliger l'impact du RECD dans le processus de prescription des aides auditives. Là encore, on constate le besoin d'appliquer dans les centres d'audioprothèse, une approche individualisée prenant en compte la variabilité de la réponse acoustique de l'oreille pour obtenir des réglages plus précis et adaptés aux besoins auditifs spécifiques de chaque individu.

### **c- Limite des tests**

Malgré la diversité des participants, l'étude réalisée a été conduite avec un échantillon relativement restreint (44 oreilles testées). Il est important de reconnaître qu'une plus grande taille d'échantillon aurait permis d'avoir une représentation plus significative des différents conduits auditif et aurait pu renforcer la fiabilité des résultats et des conclusions que nous pouvons faire ici.

Si la mesure du RECD semble être prometteuse pour accroître la précision des réglages, il est important de noter qu'elle n'est pas dénuée de variations techniques et d'erreurs de mesure. Pour exemples, les fuites acoustiques potentielles ainsi que les variations d'insertion des mousses et des tubes sondes peuvent influencer le RECD et réduire sa fiabilité.

Il est également à noter qu'une seule mesure du RECD par individu a été réalisée. Une variation dans le positionnement de la mousse pourrait révéler une variabilité intra-individuelle dans la mesure et expliquer une partie des variations observées par rapport au RECD statistique.

Bien que des différences significatives entre les cibles avec RECD mesuré et théorique aient été observées, là encore, il faut noter que l'interprétation de ces différences nécessite une analyse approfondie des implications cliniques. Les besoins auditifs individuels sont très variables et dépendent de facteurs tels que le mode de vie, les préférences personnelles et les capacités auditives résiduelles. Par conséquent, même avec une mesure précise du RECD, on ne peut malheureusement pas atteindre le réglage parfait qui répondrait de manière optimale à tous les besoins auditifs spécifiques de chaque individu dès le premier réglage

## CONCLUSION

La mesure de la fonction de transfert RECD dans le processus de réglage des aides auditives révèle une variabilité significative dans la prescription de gain, que ce soit selon la méthode DSL V5 ou NAL NL2, indépendamment de l'audiogramme du patient.

L'amplitude des écarts observés est notable, et pour les patients dont les caractéristiques acoustiques diffèrent des valeurs moyennes, la mesure individualisée de la fonction de transfert est justifiée. En effet, les différences constatées sur les cibles de pré-réglage peuvent dépasser les 10 dB par rapport aux valeurs statistiques, selon l'approche adoptée.

Afin d'évaluer concrètement les avantages pour le patient, il serait pertinent de conduire une étude visant à comparer les bénéfices d'une adaptation prothétique basée sur un pré-réglage calculé avec un RECD mesuré par rapport à un RECD théorique directement en interrogeant le patient. Cette étude, bien que subjective, pourrait fournir des informations tangibles sur les sensations et besoins individuelles des patients, un aspect non pris en compte dans la présente étude.

## BIBLIOGRAPHIE

- ❖ American National Standard Institute. Specification for Audiometers. 2004. ANSI S3.6-2004, New York.
- ❖ American National Standard Specification for Audiometers. 1996. ANSI S3.6-1996, New York. [34]
- ❖ Bagatto MP, Scollie SD, Seewald RC, Moodie KS, Hoover BM. Real-ear-to coupler difference predictions as a function of age for two coupling procedures. *J Am Acad Audiol.* 2002 ; 13 (8) . p.407- 15.
- ❖ Bech B. Variables affecting the real ear to coupler difference. Thèse de master en audiologie. Kongens Lyngby, Denmark ; 2007, 87p
- ❖ Bentler RA, Pavlovic CV. Transfer functions and correction factors used in hearing aid evaluation and research. *Ear Hear.* 1989 Feb; 10(1), p.58-63
- ❖ Bisgaard, Nikolai, et al. « Standard Audiograms for the IEC 60118-15 Measurement Procedure ». *Trends in Amplification*, vol. 14, no 2, juin 2010, p. 113-20. DOI.org (Crossref).
- ❖ Conversion des seuils audiométriques HL en leur équivalent SPL au tympan. Durand, Delerce, *Les Cahiers de l'Audition*, n°4/2011
- ❖ Decroix G., Dehaussy J. (1965) Stéréaudiométrie et appareillages stéréophoniques, 2ème édition. Arnette, Paris
- ❖ Emelyne REYEROS. RECD, CBF (Réglages au coupleur) et audiométrie aux inserts appliqué à l'appareillage de l'adulte et de l'enfant. Natus. 2021n
- ❖ Ginet, Cedric. Etude des fonctions de transfert acoustique RECD/WRECD/REDD. Université Claude Bernard Lyon 1. 2023
- ❖ Hawkins DB, Cooper WA, Thompson DJ. Comparisons among SPLs in real ears, 2

cm<sup>3</sup> and 6 cm<sup>3</sup> couplers. J Am Acad Audiol. 1990 Jul; 1(3), p.154-161.

- ❖ Keidser, G., et al. « The NAL-NL2 Prescription Procedure ». Audiology Research, vol. 1, no 1, mars 2011, p. e24. DOI.org (Crossref).
- ❖ Killion MC, Villchur E. Comments on «Earphones in Audiometry» [Zwislocki et al., J. Acoust. Soc. Am. 83, 1688-1689 (1988)]. J Acoust Soc Am. 1989 Apr; 85(4), p.1775-1778
- ❖ Lefèvre F, Dehaussy J, Peix G, Renglet T, Virole B. Précis d'Audioprothèse, L'appareillage de l'Adulte, Tome I : Le Bilan d'Orientation Prothétique. Chapitre 3. Les éditions du Collège National d'Audioprothèse. Paris. 2007 p.56-57 . p.66. p. 69 p.78 p. 89-90. Chapitre 2. p. 66 (Audiometrie) ok
- ❖ Manon CHATEAU. Comparaison de quatre configurations de mesure du RECD, impact sur le SPLoGramme et sur les valeurs cibles de la formule de préréglage DSL[i/o]V5. Les cahiers de l'audition n°4. Juillet/Août 2015
- ❖ Maudet N. Audiométrie vocale au casque TDH39 ME70 vs aux inserts ER-3A, influence du transducteur sur le score d'intelligibilité. Université de Rennes 1. 2015.
- ❖ Nicolas Daban. Comparaison entre la mesure du RECD et l'audiométrie in situ dans le cadre de la méthodologie DSL. Médecine humaine et pathologie. 2013. fihal-01866855
- ❖ Norme ISO 389. Acoustique – Zéro de référence pour l'étalonnage d'équipements audiométriques. 1994. [33] American National Standard Institute.
- ❖ Pascoe. An approach to hearing aid selection. Hear instrument 29,36, pp. 12-16.
- ❖ Rondot, Agathe. Étude comparative de la variabilité des splogrammes obtenus avec un recd statistique vs obtenus avec un recd mesuré. Université Claude Bernard Lyon 1. 2018
- ❖ Saunders GH, Morgan DE. Impact on hearing aid targets of measuring thresholds in

dB HL versus dB SPL. *Int J Audiol.* 2003 Sep; 42(6), p.319-326

- ❖ Scollie SD, S. R. C. L. J. L., 1998. Validity and repeatability of level-independent HL to SPL transforms.. *Ear Hear*, pp. 407-413.
- ❖ Seewald RC, Scollie SD. Infants are not average adults: implications for audiometric testing. *Hear J.* 1999 Oct; 52(10), p.64-72.
- ❖ Valente M, Potts LG, Valente M, Vass W, Goebel J. Intersubject variability of real-ear sound pressure level: conventional and insert earphones. *J Am Acad Audiol.* 1994 Nov; 5(6), p.390-398.
- ❖ Voss SE, Rosowski JJ, Merchant SN, Thornton AR, Shera CA, Peake WT. Middle ear pathology can affect the ear-canal sound pressure generated by audiologic earphones. *Ear Hear.* 2000 Aug; 21(4), p.265-274.
- ❖ Zelisko DL, Seewald RC, Gagné JP. Signal delivery/real ear measurement system for hearing aid selection and fitting. *Ear Hear.* 1992 Dec; 13(6), p.460-463.

# ANNEXES

	250	500	800	1000	1600	2000	3150	4000	6300	8000
Theorique	57,2	57,5	55,9	56,4	61,5	67,2	70,5	67,8	60,4	59,9
oreille 1	57,2	57,5	57,9	59,6	65,3	71,4	74,7	71,4	63,9	63,4
oreille 2	57,2	57,5	59,4	61,2	66,1	71,7	75,2	72	64,6	64,2
oreille 3	57,2	57,5	58,5	60	65	70,5	73,6	70,5	63,2	62,8
oreille 4	57,2	57,5	59,1	60,7	65,4	70,8	74,1	71	63,7	63,3
oreille 5	57,2	57,5	57,5	59	64,1	69,7	73	70,1	62,8	62,4
oreille 6	57,2	57,5	58	59,6	65	70,7	74,5	71,5	64,1	63,6
oreille 7	57,2	57,5	57,7	59,1	63,6	68,8	71,6	68,8	61,5	61,2
oreille 8	57,2	57,5	57,7	59,4	64,6	70,4	73,8	70,8	63,5	63,1
oreille 9	57,2	57,5	58,3	60,2	65,5	71,3	74,6	71,3	63,9	63,5
oreille 10	57,2	57,5	58,5	60,4	65,8	71,7	75,1	71,9	64,5	64,1
oreille 11	57,6	58,9	60,3	60,7	63,2	68,5	72,3	70,4	64,3	61
oreille 12	57,6	58,9	59,7	59,6	63,6	69,8	74,5	72,7	66,6	63,3
oreille 13	57,2	57,5	57,5	59	64,2	69,9	73,3	69,9	62,4	61,8
oreille 14	57,2	57,5	58,1	59,9	65,2	71	74,1	70,7	63,1	62,6
oreille 15	57,2	57,5	57,7	59,1	63,3	68,4	71,1	68,2	61	60,6
oreille 16	57,2	57,5	57	58,1	63,2	68,8	71,9	69	61,6	61,2
oreille 17	57,2	57,5	57,7	59,3	64,5	70,2	73,5	70,5	63,1	62,7
oreille 18	57,2	57,5	58,2	60	65,2	71	74,3	71,1	63,8	63,3
oreille 19	57,2	57,5	57,5	59	64,2	69,9	72,7	69,5	62,1	61,7
oreille 20	57,2	57,5	57	58,1	62,8	68,2	70,6	67,6	60,3	60
oreille 21	57,2	57,5	57,6	59,2	64,3	69,9	73,4	70,3	62,9	62,5
oreille 22	57,2	57,5	57,4	58,8	64,2	70,1	73,5	70,5	63,1	62,6
oreille 23	57,2	57,5	56,9	57,9	63,5	69,4	72,4	69,3	61,8	61,4
oreille 24	57,2	57,5	57,5	58,9	64,1	69,7	73,1	70,1	62,8	62,4
oreille 25	57,2	57,5	56,4	57,2	62,5	68,2	71,2	68,3	60,9	60,5
oreille 26	57,2	57,5	57,4	58,8	63,6	69	72,2	69,3	61,9	61,5
oreille 27	57,2	57,5	57,2	58,5	63,6	69,3	72,8	69,9	62,5	62,1
oreille 28	57,2	57,5	57,7	59,3	64,7	70,5	74	70,9	63,5	63
oreille 29	57,2	57,5	57,1	58,3	63,8	69,6	73,1	70	62,6	62,1
oreille 30	57,2	57,5	57,5	58,9	64,3	70,1	73,5	70,4	63	62,6
oreille 31	57,2	57,5	57,1	58,2	64,5	70,9	74,6	71,4	63,9	63,5
oreille 32	57,2	57,5	58,2	60,1	66	72,1	75,8	72,3	64,8	64,3
oreille 33	57,2	57,5	57,9	59,6	64,5	70	73,5	70,3	62,9	62,4
oreille 34	57,2	57,5	57,6	59,2	64,5	70,3	73,8	70,7	63,2	62,7
oreille 35	57,2	57,5	57	58,1	63,2	68,8	72,4	69,5	62,2	61,7
oreille 36	57,2	57,5	57,2	58,4	63,7	69,4	73,2	70,1	62,7	62,2
oreille 37	57,2	57,5	56,9	57,9	62,6	68	70,9	67,9	60,3	59,7
oreille 38	57,2	57,5	57,2	58,5	63,4	68,8	71,9	68,8	61,4	60,9
oreille 39	57,2	57,5	56,5	57,4	62	67,4	71	68,3	61	60,5
oreille 40	57,2	57,5	57,5	59	63,5	68,8	70,6	67	59	58,1
oreille 41	57,2	57,5	56,5	57,3	62,2	67,7	70,7	67,8	60,4	60
oreille 42	57,2	57,5	56,6	57,5	62,4	67,9	71	68,2	60,8	60,4
oreille 43	57,2	57,5	59,4	61,5	66,4	72	75,4	72,1	64,7	64,3
oreille 44	57,2	57,5	58,8	60,4	65,3	70,8	73,9	70,8	63,6	63,2

*Annexe 1 : Cibles NAL NL2 pour audiométrie de bisgaard et al N2 en dB SPL*

	250	500	800	1000	1600	2000	3150	4000	6300	8000
Theorique	70,6	71,7	73,6	74,3	79,2	84,7	88,6	85,3	77,8	77,4
oreille 1	74,6	76,2	78,2	79,1	84,5	90,4	94,8	91	83	82,4
oreille 2	75,1	77,6	79,7	80,5	85,8	91,6	95,9	92	83,9	83,2
oreille 3	74,7	76,7	78,5	79,2	84,2	89,8	93,8	90	82,3	81,7
oreille 4	74,9	77,3	79,2	79,9	85	90,7	94,7	90,9	83	82,4
oreille 5	73,3	74,6	76,5	77,2	82,5	88,2	92,7	89,2	81,5	80,9
oreille 6	73,9	75,8	77,8	78,6	84,1	90	94,7	91	83,1	82,4
oreille 7	73	74,7	76,4	77,1	81,9	87,4	91,3	87,7	80,1	79,6
oreille 8	73,2	75,1	77,1	77,9	83,5	89,4	94,1	90,4	82,5	81,8
oreille 9	74,2	76,1	78,2	79,1	84,6	90,5	95	91,2	83,2	82,5
oreille 10	74,8	76,8	78,8	79,6	85,1	91,1	95,6	91,8	83,8	83,1
oreille 11	70,8	71,9	74,4	75,5	80,9	86,7	91	87,2	79,4	78,8
oreille 12	73,2	74,4	76,4	77,2	82,7	88,6	93	89,5	81,7	81
oreille 13	69,5	71,5	74,5	76	82,2	88,5	93,4	89,5	81,3	80,4
oreille 14	72,8	74,7	77,2	78,3	84	90	94,3	90,3	82,2	81,5
oreille 15	72,9	74,4	76,1	76,7	81,4	86,7	90,4	86,8	79,3	79
oreille 16	72,3	73,6	75,5	76,2	81,3	86,9	91,1	87,6	79,9	79,4
oreille 17	73,4	74,9	76,9	77,7	83	88,8	93,3	89,8	81,9	81,3
oreille 18	74,3	75,9	77,9	78,7	84,1	89,9	94,5	90,7	82,8	82,2
oreille 19	73,4	74,7	76,6	77,4	82,5	88,1	92,2	88,5	80,8	80,3
oreille 20	71,8	72,6	74,4	75,1	79,9	85,4	89,3	85,8	78,3	78
oreille 21	72,2	73,7	75,9	76,9	82,5	88,4	93,2	89,6	81,7	81
oreille 22	72,5	73,8	76	76,9	82,5	88,5	93,2	89,6	81,7	81,1
oreille 23	72,4	73,3	75,3	76,1	81,4	87,1	91,4	87,9	80,2	79,6
oreille 24	72,8	74,1	76,1	76,9	82,3	88,1	92,8	89,2	81,4	80,8
oreille 25	71,3	72,1	74,1	74,8	79,9	85,6	89,7	86,4	78,8	78,3
oreille 26	72,4	73,7	75,7	76,5	81,6	87,3	91,6	88,1	80,4	79,8
oreille 27	71,5	72,8	75,1	76,1	81,6	87,6	92,4	88,9	81	80,3
oreille 28	73	74,6	76,8	77,7	83,3	89,3	94	90,3	82,4	81,7
oreille 29	71,5	72,5	74,8	75,9	81,5	87,6	92,5	89	81,1	80,4
oreille 30	73,1	74,3	76,3	77,2	82,6	88,4	93,1	89,5	81,7	81,1
oreille 31	73,5	74,3	76,4	77,3	83	89,1	94	90,6	82,6	81,9
oreille 32	73,6	74,9	77,4	78,5	84,6	90,8	96	92,2	84	83,2
oreille 33	71,6	73,2	75,7	76,9	82,6	88,7	93,6	89,8	81,8	81,1
oreille 34	72,2	73,9	76,2	77,2	82,9	88,9	93,7	90	82	81,3
oreille 35	70,6	72,1	74,4	75,4	81	87	91,9	88,5	80,6	79,9
oreille 36	70,3	71,9	74,5	75,7	81,6	87,8	92,8	89,3	81,2	80,4
oreille 37	69,7	71	73,6	74,7	80	85,8	90,1	86,4	78,5	77,9
oreille 38	71,1	72,5	74,8	75,8	81,1	86,9	91,3	87,6	79,8	79,2
oreille 39	69,3	70,4	72,7	73,7	79,2	85	90	86,7	79	78,4
oreille 40	69,2	70,7	73,7	75,2	80,5	86,4	89,9	85,6	77,7	77
oreille 41	69,4	70,3	72,7	73,8	79,2	85	89,6	86,1	78,4	77,8
oreille 42	70	71	73,2	74,2	79,5	85,3	89,9	86,5	78,8	78,3
oreille 43	74,1	76,7	79	80	85,8	91,8	96,5	92,4	84,2	83,4
oreille 44	74,7	77,4	79,4	80,1	85,4	91,2	95,1	91,2	83,2	82,5

*Annexe 2 : Cibles NAL NL2 pour audiométrie de bisgaard et al N4 en dB SPL*

Hertz	250	500	800	1000	1600	2000	3150	4000	6300	8000
theorique	85,7	89,5	91,3	92	96,7	102	104,6	99,5	91	90
oreille 1	92,4	94,2	95,3	95,6	100	105,1	107,4	102	93,4	92,4
oreille 2	94	96,3	97	96,8	101,1	106,1	108,2	102,7	94,3	93,4
oreille 3	92,8	95	96	96,1	100,1	105,1	107	101,5	93,2	92,3
oreille 4	93,4	95,9	96,7	96,6	100,7	105,7	107,5	102,1	93,7	92,8
oreille 5	90,1	92,5	93,7	94	98,5	103,7	106,4	101,3	92,8	91,9
oreille 6	90,9	93,3	94,6	94,9	99,5	104,8	107,6	102,5	93,9	92,8
oreille 7	90,2	93,1	94,3	94,6	98,7	103,7	105,6	100,2	91,9	91
oreille 8	90,6	93	94,3	94,6	99,2	104,6	107,4	102,2	93,6	92,5
oreille 9	92,4	94,3	95,3	95,4	99,8	105	107,4	102	93,5	92,5
oreille 10	93,3	95	95,9	95,9	100,3	105,4	107,9	102,6	94,1	93,1
oreille 11	87,4	90,2	91,7	92,1	96,8	102,2	104,4	98,9	90,4	89,5
oreille 12	89,5	92	93,5	94	98,7	104	106,8	101,7	93,1	92
oreille 13	85,7	89,3	91,2	91,9	97,4	103,3	106,3	100,8	91,9	90,7
oreille 14	90,4	93	94,3	94,6	99,3	104,6	106,7	101,1	92,5	91,4
oreille 15	90,1	93	94,1	94,3	98,3	103,3	104,9	99,5	91,2	90,4
oreille 16	88,5	91,4	93	93,4	97,9	103,1	105,5	100,3	91,8	90,8
oreille 17	90,5	92,7	94	94,2	98,7	104	106,6	101,4	92,9	91,9
oreille 18	92	93,9	94,9	95	99,4	104,6	107,1	101,8	93,3	92,4
oreille 19	90,7	92,9	94,1	94,4	98,7	103,7	105,7	100,3	91,9	91
oreille 20	88,6	91	92,3	92,6	96,8	101,9	103,9	98,6	90,3	89,5
oreille 21	88,8	91,4	92,8	93,2	98	103,5	106,4	101,2	92,6	91,6
oreille 22	89,1	91,5	92,9	93,3	98,1	103,5	106,5	101,4	92,8	91,7
oreille 23	88,9	91,3	92,7	93,2	97,7	102,9	105,4	100,2	91,7	90,8
oreille 24	89,5	91,9	93,2	93,6	98,2	103,5	106,3	101,2	92,7	91,7
oreille 25	87,2	90,1	91,6	92,1	96,7	102	104,6	99,5	91,1	90,2
oreille 26	88,8	91,6	93	93,4	97,9	103,1	105,5	100,3	91,8	90,9
oreille 27	87,6	90,6	92,1	92,6	97,6	103,1	106,2	101	92,4	91,4
oreille 28	90	92,3	93,7	94	98,8	104,2	107	101,8	93,2	92,1
oreille 29	87,7	90,2	91,7	92,1	97,1	102,7	105,9	100,9	92,3	91,2
oreille 30	89,9	92	93,3	93,7	98,3	103,6	106,4	101,3	92,8	91,7
oreille 31	90,2	91,9	93,1	93,5	98,3	103,7	107,1	102,2	93,7	92,6
oreille 32	91,3	92,7	93,8	93,9	98,8	104,3	107,5	102,4	93,8	92,7
oreille 33	88,3	91,1	92,4	92,8	97,8	103,4	106,3	101,1	92,4	91,4
oreille 34	88,9	91,6	93	93,5	98,4	103,9	106,7	101,4	92,8	91,7
oreille 35	86,5	89,8	91,5	92,1	97,2	102,9	106,1	101,1	92,4	91,3
oreille 36	86,1	89,4	91,2	91,8	97,2	103	106,4	101,2	92,4	91,3
oreille 37	85,3	89	90,9	91,7	96,6	102,1	104,3	98,8	90,1	89,1
oreille 38	87,5	90,6	92,2	92,7	97,4	102,9	105,2	99,8	91,2	90,2
oreille 39	84,5	88,2	90	90,6	95,8	101,6	105,1	100,2	91,6	90,5
oreille 40	85,8	89,2	91	91,7	96,5	102	103,1	97	88,4	87,5
oreille 41	85,2	88,4	90,2	90,8	95,8	101,4	104,3	99,1	90,6	89,6
oreille 42	85,7	88,9	90,6	91,2	96,1	101,6	104,6	99,5	91	90
oreille 43	93,9	96,2	96,4	96	100,4	105,6	108,2	102,7	94,4	93,5
oreille 44	93,1	96,3	97,3	97,4	101,6	106,7	108,4	102,7	94,2	93,2

*Annexe 3 : Cibles NAL NL2 pour audiométrie de bisgaard et al N6 en dB SPL*

Hz	250	500	800	1000	1600	2000	3150	4000	6300	8000
theorique	50,6	57,9	59,5	57,3	61,9	66,6	69,4	68,5	64	61,1
oreille 1	53,6	60,5	61,9	59,3	64,5	71,6	72,9	71,9	64,3	61,3
oreille 2	55	62,4	64,5	60,4	65,6	71,2	73,3	71,9	66,8	64,1
oreille 3	54,8	61,6	62,9	59,9	63,5	69,6	72,2	70,6	64,3	61,3
oreille 4	54,9	62,3	63,8	61,3	64,1	69,8	72,3	71,4	66	63,1
oreille 5	53,9	59,7	62,9	59,8	64,2	69,6	71,3	69,6	65,6	62,8
oreille 6	54,1	60,4	63,2	58,6	64	69,6	71,3	71,7	66,5	63,8
oreille 7	52,6	60,1	62,9	58,3	62,8	68,2	69,8	68,5	62,3	59,3
oreille 8	52,2	59,7	63,1	58,5	63,4	69,5	71,4	70,4	67,2	64,6
oreille 9	53,6	60,5	63,1	60,6	63,8	71	72,2	71,3	65,9	63
oreille 10	54,3	61,1	62,7	60,7	65,1	71,7	73,6	72,1	66,7	64
oreille 11	57,2	57,5	57,4	58,9	63,5	68,9	71,5	68,3	60,8	60,3
oreille 12	57,2	57,5	56,8	57,8	63,9	70,2	73,7	70,6	63,1	62,6
oreille 13	47,9	56,1	61,3	58,8	62,7	69,3	71,8	70,1	64,6	61,7
oreille 14	51,7	59,3	63	60,5	64,6	70,2	71,6	71,2	63,4	60,4
oreille 15	53,2	60,1	62,9	58,3	62,6	67,5	69,1	67,9	62,5	59,4
oreille 16	52,6	58,9	61,6	58,4	62,7	68,1	70,5	68,7	62,5	59,4
oreille 17	54	59,7	62,3	58,5	63,7	68,8	72,1	70,4	64,9	62
oreille 18	54,8	60,5	62,1	60	64,2	70,3	73,4	71,3	65,9	63
oreille 19	53,3	59,7	61,8	58,4	63,1	68,6	71,2	68,9	62,7	59,5
oreille 20	52,4	58,2	60,3	58,8	62,4	67,3	69,2	66,3	60,8	57,6
oreille 21	52,7	58,5	61,3	58,4	62,9	69,5	71,4	70,2	64,7	61,8
oreille 22	52,7	58,5	61,6	59,7	63,5	68,6	72	70,2	64,8	61,9
oreille 23	52,6	58,4	60,8	58,4	64	69,4	70,5	68,8	62,5	59,4
oreille 24	53,3	59	62	59,7	63,5	69,5	71,3	69,6	65,5	62,7
oreille 25	51,7	57,6	59,4	56,9	61,4	67,2	68,9	68,3	61,5	58,3
oreille 26	53,2	59	61,5	59,7	63,3	68,2	71,1	68,8	62,3	59,3
oreille 27	51,3	57,7	61,3	58,9	62,3	68,6	70,5	69,4	64,6	61,7
oreille 28	52,8	59,1	63,1	58,5	62,8	69,5	72,2	71,1	65,6	62,8
oreille 29	52	57,3	61,8	59	64	69,4	71,2	69,5	63,8	60,9
oreille 30	53,9	59,1	62,1	59,8	64,3	68,6	71,4	70,2	64	61,1
oreille 31	53,4	58,6	61,9	58,6	64,2	70,8	72,8	71,9	65,6	62,9
oreille 32	53,6	58,8	62,4	60,6	65,7	71	73	71,7	66,6	63,8
oreille 33	52,2	58	63,4	59,7	63	69,6	72,5	70,4	64,8	61,9
oreille 34	52,1	58,5	62,2	58,4	63,8	68,6	72,1	71	64,8	61,9
oreille 35	49,5	57,1	60,6	58,2	62,5	67,9	69,8	68,5	65,2	62,4
oreille 36	49,5	56,6	60,8	58,9	63,2	68,6	71,2	70,1	65,3	62,5
oreille 37	48,8	56,4	60,6	58,7	62,2	66,6	69,4	68,3	59,9	56,6
oreille 38	50,7	57,7	61,8	59,5	62,6	68	70,3	69,1	62,4	59,3
oreille 39	48,1	55,7	59,2	56,7	60,8	67,4	69,5	67,4	66,5	63,8
oreille 40	48,4	56	61,2	60	63,5	68	69,4	67,7	56,7	53,1
oreille 41	48,7	55,7	59,4	57,3	62,4	66,4	69,4	66,7	61,8	58,8
oreille 42	49,9	56,3	59,4	57,4	62,5	66,5	69,5	67,5	61,9	58,8
oreille 43	57,2	57,5	59,4	61,5	66,4	72	75,4	72,1	64,7	64,3
oreille 44	57,2	57,5	58,8	60,4	65,3	70,8	73,9	70,8	63,6	63,2

*Annexe 4 : Cibles DSL V5 pour audiométrie de bisgaard et al N2 en dB SPL*

Hz	250	500	800	1000	1600	2000	3150	4000	6300	8000
theorique	72,6	75,7	75,4	73,8	79,8	85,9	91,2	92,4	91,1	89,4
oreille 1	76,1	78,6	80,4	78,2	84,2	92,8	96	95	90,9	89,2
oreille 2	77,8	80,9	82,5	80,4	85,4	92,3	96,3	95,7	93,8	92,2
oreille 3	77,7	80	81,7	79	83,1	90,6	93,9	93,9	90,9	89,2
oreille 4	77,8	80,8	81,7	79,6	83,8	90,7	95,4	94,5	92,4	90,7
oreille 5	76,8	77,7	79,4	76,6	82,1	89,1	93	93,2	92,3	90,6
oreille 6	76,8	78,5	79,6	77,4	83,7	90,6	94,2	95,5	93,6	92
oreille 7	75,1	78,4	79,5	77,3	80,6	87,6	91,4	91,3	89,1	87,3
oreille 8	74,4	77,7	79,6	77,4	83,1	90,5	94,4	93,8	94,2	92,6
oreille 9	76,1	78,6	81,8	79,7	83,5	92,1	95,3	94,4	92,4	90,7
oreille 10	76,9	79,3	81,4	79,8	84,9	92,9	96,7	95,1	93,7	92,1
oreille 11	73,4	74,6	75,2	77,9	81,6	87,4	90,6	91,1	86,4	84,5
oreille 12	75,2	77	78,4	74,4	84,8	90,5	94,7	94,9	90,8	89,2
oreille 13	68,7	73,2	77,4	77,9	82,5	88,9	93,6	93,6	91,5	89,7
oreille 14	73,7	77,1	81,8	79,7	84,3	91,3	94,6	94,4	90	88,3
oreille 15	75,9	78,3	79,5	77,3	80,4	86,8	90,6	90,6	88,2	86,4
oreille 16	75,1	76,9	77,9	75,1	80,5	87,5	92,2	92,5	88,2	86,4
oreille 17	76,8	77,7	78,5	77,4	83,5	89,8	93,8	93,8	91,6	89,9
oreille 18	77,7	78,6	80,6	79	83,9	91,4	96,4	94,5	92,4	90,7
oreille 19	76	77,7	77,9	77,3	82,7	89,8	92,9	92,6	88,2	86,4
oreille 20	75	76,1	76,4	75,7	80,3	86,7	90,8	88,9	86,5	84,5
oreille 21	75,1	76,2	77,3	77,3	82,6	89	93,1	93,7	91,6	89,8
oreille 22	75,1	76,2	77,7	76,6	83,4	89,8	93,8	93,7	91,6	89,9
oreille 23	75,1	76,2	76,8	75	82	89	92,2	92,5	88,2	86,4
oreille 24	75,9	76,9	78,3	76,6	81,5	89	93	93,2	92,2	90,5
oreille 25	74,2	75,3	75,3	73,5	79,1	86,7	90,6	91,1	87,2	85,4
oreille 26	75,9	76,9	77,7	76,6	81,1	87,5	92,8	92,6	89,1	87,3
oreille 27	73,5	75,4	77,5	75,7	80,1	88,2	92,3	93	91,5	89,8
oreille 28	75,2	77	79,6	77,4	82,5	90,5	93,9	94,3	92,9	91,1
oreille 29	74,3	74,7	78	75,8	82	89	92,9	93,1	90,7	89,1
oreille 30	76,7	77	78,3	76,6	82,3	89,8	93,2	93,7	90,8	89,1
oreille 31	76	76,3	78	75,2	84	92	95,9	94,9	92,9	91,3
oreille 32	76	76,4	78,5	79,7	85,5	93,5	96,1	95,5	93,6	92
oreille 33	74,4	75,6	79,9	78,9	82,7	89,1	95,5	93,8	91,6	89,9
oreille 34	74,3	76,2	78,4	77,3	81,7	89,7	93,9	94,1	91,6	89,8
oreille 35	71,1	74,6	76,7	74,9	80,4	87,4	91,5	92,4	92,7	91,1
oreille 36	71,1	74	76,9	75,7	81,1	88,2	93	93,6	92,1	90,4
oreille 37	70,3	73,9	76,8	75,7	80,1	85,9	91,2	91,1	85,5	83,7
oreille 38	72,7	75,4	78,2	76,5	80,5	87,5	92	92	88,1	86,4
oreille 39	69,4	73	75,1	73,3	78,6	85,1	89,7	90,3	93,8	92,3
oreille 40	69,6	73,3	79,9	79,4	81,6	87,4	91,1	90,5	80,5	78,3
oreille 41	70,1	73,1	75,3	74,1	78,3	85,8	89,6	89,4	88,8	87,1
oreille 42	71,7	73,8	75,3	74,1	78,3	85,9	89,8	90,3	88,8	87,1
oreille 43	75,4	79,4	82,2	82,7	86,6	92,9	95,4	94,5	97,7	96,2
oreille 44	72,9	80,7	80,1	79,7	83,3	91,3	93,2	93,8	94,9	93,3

*Annexe 5 : Cibles DSL V5 pour audiométrie de bisgaard et al N4 en dB SPL*

Hz	250	500	800	1000	1600	2000	3150	4000	6300	8000
theorique	90,1	94	96,6	95,8	100,7	105,4	108,6	108,8	107,5	106,4
oreille 1	93	96,4	101,7	99,7	105,3	112,5	113,7	112,4	107,5	106,4
oreille 2	94,4	98,3	104,5	102,6	106,5	111,9	114	113,3	111,1	110,1
oreille 3	94,2	97,5	102,7	100,3	104,2	110,2	111,5	110,7	107,5	106,3
oreille 4	94,3	98,2	103,7	101,8	104,9	110,3	113	111,6	109,3	108,2
oreille 5	93,4	95,6	100,7	98,2	103,1	108,6	110,6	109,8	109	107,9
oreille 6	93,6	96,4	101	99	104,8	110,2	111,9	113,1	110,9	109,9
oreille 7	92,1	96,1	100,7	98,8	101,5	107	108,9	107,4	105,5	104,3
oreille 8	91,6	95,7	100,8	98,9	104,1	110,1	112	110,6	111,7	110,7
oreille 9	93	96,4	102,9	101	104,5	111,7	112,9	111,6	109,2	108,1
oreille 10	93,7	97,1	102,5	101,1	106	112,6	114,4	112,4	111	110
oreille 11	90,7	93,2	96,4	99,3	102,5	106,9	108,1	107,3	102,8	101,5
oreille 12	92,2	95,2	99,8	96,4	105,9	110,1	112,3	112,2	107,4	106,2
oreille 13	86	92,2	98,8	99,4	103,5	108,4	111,2	110,5	108	106,9
oreille 14	91,1	95,2	102,9	101	105,5	110,9	112,2	111,5	106,6	105,4
oreille 15	92,7	96,1	100,7	98,8	101,3	106,3	108,1	106,6	104,6	103,4
oreille 16	92	95	99,3	96,8	101,4	107	109,7	108,9	104,6	103,4
oreille 17	93,4	95,7	99,9	98,9	104,5	109,4	111,4	110,6	108,2	107,1
oreille 18	94,2	96,4	101,8	100,4	105	111	114,1	111,6	109,2	108,1
oreille 19	92,8	95,6	99,3	98,9	103,8	109,3	110,4	109	104,7	103,5
oreille 20	92	94,3	97,7	97,4	101,2	106,1	108,3	105	102,8	101,5
oreille 21	92,1	94,5	98,8	98,8	103,6	108,5	110,7	110,5	108,1	107
oreille 22	92,1	94,5	99,2	98,2	104,4	109,3	111,3	110,6	108,1	107
oreille 23	92	94,4	98,2	96,8	103	108,5	109,7	108,9	104,6	103,4
oreille 24	92,7	95	99,6	98,2	102,4	108,5	110,5	109,8	109	107,9
oreille 25	91,3	93,7	96,5	95,4	100,1	106,1	108	107,2	103,6	102,2
oreille 26	92,7	95	99,1	98,1	102,1	107	110,4	108,9	105,5	104,3
oreille 27	90,8	93,8	98,9	97,4	101	107,7	109,8	109,7	108	106,9
oreille 28	92,2	95,1	100,8	98,9	103,5	110,1	111,5	111,4	109,9	108,9
oreille 29	91,4	93,3	99,4	97,5	103	108,5	110,5	109,7	107,2	106,1
oreille 30	93,4	95,1	99,7	98,2	103,2	109,3	110,7	110,6	107,3	106,1
oreille 31	92,9	94,6	99,5	97	105	111,6	113,6	112,2	110	108,9
oreille 32	93	94,7	100	101,1	106,7	113,2	113,8	113,1	111	110
oreille 33	91,6	94	101,1	100,2	103,7	108,6	113,2	110,6	108,2	107,1
oreille 34	91,5	94,5	99,8	98,9	102,7	109,3	111,4	111,4	108,2	107
oreille 35	88,5	93,2	98,1	96,7	101,3	106,9	109	108,8	109,7	108,6
oreille 36	88,5	92,7	98,3	97,4	102,2	107,7	110,5	110,4	108,9	107,8
oreille 37	87,6	92,6	98,2	97,3	101	105,3	108,7	107,2	101,9	100,5
oreille 38	90,2	93,8	99,5	98,1	101,4	106,9	109,5	108,1	104,6	103,3
oreille 39	86,6	91,9	96,4	95,3	99,7	104,6	107,2	106,3	111,2	110,3
oreille 40	86,8	92,1	101	100,7	102,6	106,9	108,6	106,5	97,6	96
oreille 41	87,5	91,9	96,6	95,9	99,4	105,2	107,1	105,6	105,2	104
oreille 42	89,2	92,5	96,6	96	99,4	105,3	107,2	106,4	105,3	104
oreille 43	92,5	97,1	103,2	104,7	107,8	112,6	113	111,7	116,3	115,4
oreille 44	90,4	98,1	101,3	101	104,3	110,9	110,8	110,7	112,6	111,7

*Annexe 6 : Cibles DSL V5 pour audiométrie de bisgaard et al N6 en dB SPL*