

REVUE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

LA REVUE  
DU COLLÈGE  
NATIONAL  
D'AUDIO-  
PROTHÈSE

Les Cahiers de  
**l'Audition**

BIMESTRIEL

Mai / Juin 2023 - Vol 36 - N°3 / WWW.COLLEGE-NAT-AUDIO.FR

**DOSSIER**  
ENSEIGNEMENT  
POST-UNIVERSITAIRE :  
RÉSUMÉS DES MÉMOIRES  
D'AUDIOPROTHÈSE

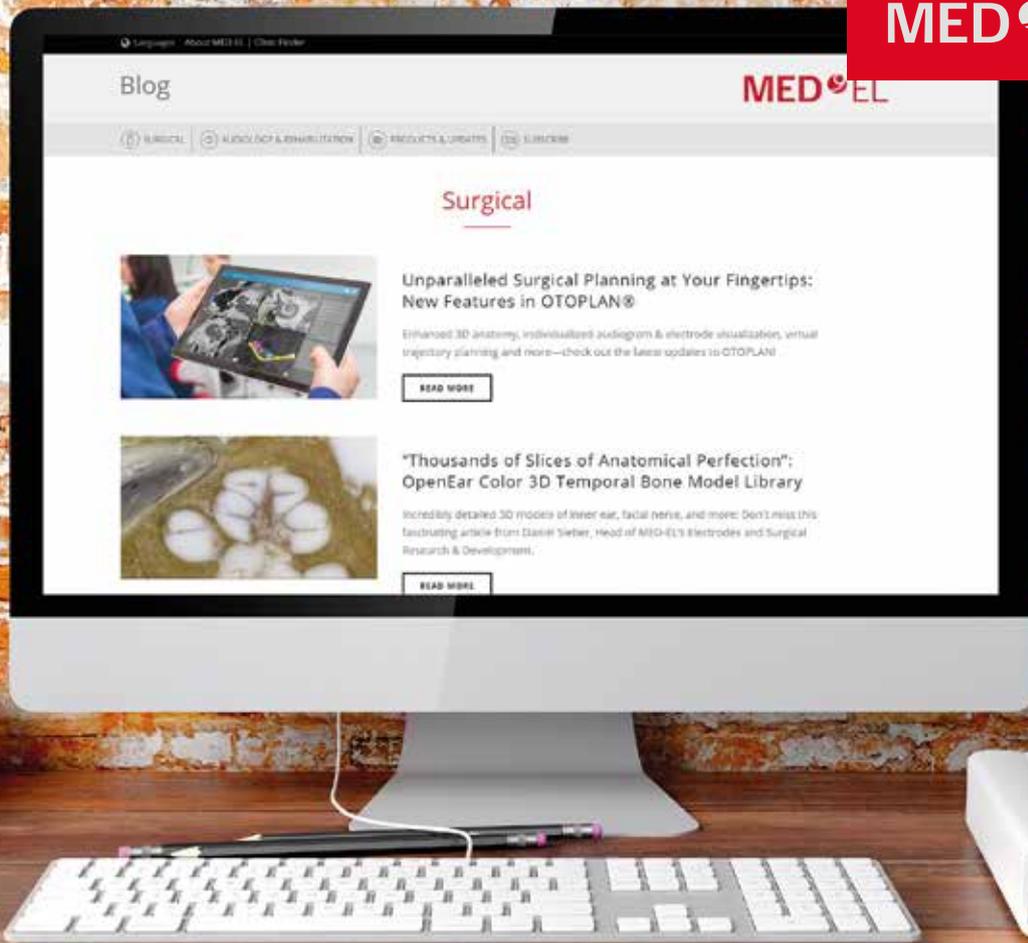
**MÉTIER ET TECHNIQUE**  
LA PRISE D'EMPREINTE ET LE CHOIX DE  
L'EMBOUT AURICULAIRE

**IMPLANT COCHLÉAIRE**  
INDICATION D'IMPLANTATION  
COCHLEAIRE EN CAS DE SURDITÉ  
PROFONDE ASSOCIÉE À UNE OTITE  
PERSISTANTE

**CAS CLINIQUE**  
PRISE EN CHARGE FUTURE  
DU PATIENT MALENTENDANT DANS UN  
CABINET D'AUDIOPROTHÈSE

**REVUE DE LITTÉRATURE  
SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE**  
L'APPRENTISSAGE AUDITIF :  
INTÉRÊT(S) ET IMPORTANCE  
EN RÉHABILITATION AUDITIVE

**VEILLE TECHNIQUE** INNOVATIONS DES INDUSTRIELS



## Blog MED-EL pour les professionnels

Vous êtes un professionnel de l'audition ? Retrouvez une multitude de thèmes et de ressources utiles sur notre blog.

- Articles argumentés sur des thèmes spécifiques
- Cas cliniques chirurgicaux
- Webinars (réglages, formations...)
- Ressources audiologiques
- Nouveautés produits

Abonnez-vous pour recevoir les nouveaux articles directement dans votre boîte mail.

[my.medel.com/fr](https://my.medel.com/fr)

**Créez votre compte dès aujourd'hui**  
*(un délai d'activation peut s'appliquer)*

# Les Cahiers de l'Audition

Vol 36 - N°3 - Mai / Juin 2023

**Editeur** : Collège National d'Audioprothèse  
ANT Congrès - 154 avenue de Lodève

34070 Montpellier

**Président** : DEL RIO Matthieu

secretariat-cna@ant-congres.com

**Directeur de la publication** :

COEZ Arnaud - acoez@noos.fr

**Rédacteur en chef** :

AVAN Paul - paul.avan@u-clermont1.fr

**Conception et réalisation** :

MBQ - BERTET Stéphanie

stephanie.bertet@mbq.fr

**Publicité, petites annonces, abonnements** :

editions-cna@orange.fr

**Impression** : DB PRINT

## COLLÈGE NATIONAL D'AUDIOPROTHÈSE BUREAU

**Président** : DEL RIO Matthieu

**1<sup>er</sup> Vice Président** : COLIN David

**2<sup>e</sup> Vice Présidente** : BALET Charlotte

**Secrétaire général** : RENARD Christian

**Secrétaire générale adjointe** : GUEMAS Céline

**Trésorier Général** : ROY Thomas

**Trésorier Général adjoint** : POTIER Morgan

**Présidents d'Honneurs** : BIZAGUET Eric,

LAURENT Stéphane, LE HER François

## MEMBRES

BESTEL Julie, BISCHOFF Hervé,  
BLANCHET Jean-Jacques, COEZ Arnaud,  
DEJEAN François, DELERCE Xavier,  
GALLEGO Stéphane, GARNIER Stéphane,  
GAULT Alexandre, GERBAUD Grégory,  
GUTLEBEN Jehan, HANS Eric, HUGON Bernard,  
JILLIOT Jérôme, KRAUSE Vincent, LASRY Yves,  
LEFEVRE Frank, LEGRIS Elsa, NAHMANI Yoan,  
REMBAUD Frédéric, ROBIER Mathieu,  
ROY Benoît, SELDRAN Fabien, TRAN David,  
VESSON Jean-François, VINET Alain,  
WALLAERT Nicolas, WATERLOT Paul-Edouard

## MEMBRES HONORAIRES

ARTHAUD Patrick, AUDRY Jean-Claude,  
BANCONS Jean †, Beraha Jean-Paul,  
BIZAGUET Geneviève, CHEVILLARD Daniel,  
DAGAIN Christine, DE BOCK Ronald †,  
DEBRUILLE Xavier, DEGOVE François,  
DEHAUSSY Jacques †, DUPRET Jean-Pierre †,  
ELCABACHE Charles, FAGGIANO Robert,  
FONTANEZ Francis, NICOT-MASSIAS Maryvonne,  
OLD Jean †, PEIX Georges †,  
RAINVILLE Maurice †, RENARD Xavier †,  
THIBAUT Philippe, VAYSSETTE Joany †,  
VEIT Paul †

## MEMBRES CORRESPONDANTS ÉTRANGERS

CARLE Roberto, DODELE Léon, EL ZIR Elie,  
ESTOPPEY Philippe †, GRAFF André †,  
LUCARELLI Bruno, LURQUIN Philippe,  
MAGNELLI Leonardo,  
MARTINEZ OSORIO Carlos,  
RENGLET Thierry, SAN JOSE Juan Martinez,  
SCHWOB Christoph, TRUDEL Marc

Dépot Légal à date de parution

## Le mot du président *Matthieu Del RIO*

3

## 5 Editorial *Paul Avan*

## Dossier

7

- La synaptopathie cochléaire : une surdité cachée. **7**  
*Cédric BAILLARD*
- L'impact d'une surdité et du port de masques faciaux (simulés) sur les performances au test cognitif MMSE. **17**  
*Ana DOAN*
- Résistivité de l'intelligibilité en fonction de la vitesse d'élocution et influence des constantes de temps de la compression. **23**  
*Dorothee JOUAN*

## Métier et technique

33

- La prise d'empreinte et le choix de l'embout auriculaire.  
*Eric HANS*

## 38 Cas clinique

- Prise en charge future du patient malentendant dans un cabinet d'audioprothèse.  
*Nicolas WALLAERT, Hadrien JEAN, Nihaad PARAOUTY*

## Implant cochléaire

46

- Indication d'implantation cochléaire en cas de surdité profonde associée à une otite persistante.  
*Natalie LOUNDON, Arnaud COEZ*

## Revue de littérature scientifique et médicale

48

- L'apprentissage auditif : intérêt(s) et importance en réhabilitation auditive.  
*Sarah ATTIA*

## Veille technique

Les innovations  
des industriels

50



# Unique. Élégant. Connecté. Avec Phonak Slim™

Il est temps de rendre l'audition moderne et attrayante pour vos patients. Dotées de la technologie innovante de la plateforme Phonak Lumity, les aides auditives Phonak Slim sont la solution pour les patients qui préfèrent des aides auditives élégantes et uniques.



# LE MOT DU PRÉSIDENT



Matthieu Del RIO  
Président du Collège  
National d'Audioprothèse

C  
hers Collégiens,  
Chers Confrères,  
Chers Étudiants,

C'est avec un grand plaisir que le Collège vous présente ce nouveau numéro des Cahiers de l'Audition. Un numéro qui continue de relater la forte activité scientifique et technique qui vous a été proposée au cours de la 26e édition de l'Enseignement post-universitaire en audioprothèse. En complément de nombreux articles, vous pourrez également retrouver de nouveaux mémoires d'étudiants diplômés en 2022 mettant en lumière les excellents travaux universitaires de nos jeunes professionnels!

Mais j'aimerais avant tout profiter de cet éditorial pour faire avec vous le point sur les dossiers de première importance qui rythment la vie de notre discipline. En ce sens, je tiens tout particulièrement à souligner l'excellente vigilance dont fait preuve notre profession vis-à-vis des dérives et fraudes auxquelles elle a été confrontée à plusieurs reprises dans un passé proche. Les différents organes représentatifs, travaillant de concert avec les audioprothésistes de terrain, ont su trouver les moyens de mettre un terme à de nombreux agissements répréhensibles aux yeux de la loi. Nous ne pouvons que nous en féliciter et ces affaires plaident à ce qu'un cadre réglementaire plus fort, soit instauré en audioprothèse. La protection de nos valeurs en tant que professionnels de santé nécessite indéniablement que cela passe par la création d'un ordre professionnel. Nous devons aujourd'hui davantage faire respecter les bonnes pratiques professionnelles et commerciales, c'est un engagement que j'ai pris dès le début de mon mandat de président du Collège. Il en va de l'intérêt de nos patients et de leur protection.

Il me faut également revenir sur les récents échanges que l'ensemble de la profession a entretenus avec les Pouvoirs publics dans le cadre du comité de suivi du 100 % Santé. Il s'est déroulé le 18 avril dernier en présence notamment du ministre François Braun qui a renouvelé sa volonté de lutter contre les inégalités d'accès aux soins. Les échanges ont permis de dresser un bilan globalement très positif de l'application de la réforme tout en se penchant sur les futures étapes qui s'ouvrent pour elle. Je veux ici citer l'amélioration du panier de soins de la classe I; le renforcement des prestations de suivi; l'amélioration de l'implication des généralistes, toujours trop peu nombreux à se former à la prescription en audiologie, etc. Par ailleurs, les échanges ont fait émerger le désir de réaliser une vaste enquête de satisfaction auprès des patients. Le ministre a notamment souligné que le tiers-payant demeurait en retrait par rapport aux attentes, le définissant de fait comme une priorité et un axe de travail important.

Lors de cette rencontre, le Collège a fait entendre sa voix en abordant les questions de compétences des audioprothésistes fraîchement issus de la filière espagnole, faisant part de fait de son désir d'évaluer les connaissances et aptitudes pratiques de ces derniers. Cela pourrait se faire par exemple par le biais d'un examen national en sortie d'école. Réitérant sa volonté qu'un ordre soit créé, le Collège a également formulé le souhait que le décret de compétences en préparation depuis déjà longtemps soit rapidement publié.

Il en va de l'avenir de notre profession. La publication de ce décret de compétences qui doit être réalisé par la Direction générale de l'offre de soins (DGOS) permettra enfin de rentrer pleinement dans la réingénierie de la formation des audioprothésistes que nous préparons de longue date avec le concours du Conseil des centres de formation des universités françaises en audioprothèse (CCFUA). Rappelons que le décret régissant les programmes date de plus de vingt ans... Il est plus que tant de rentrer dans une nouvelle modernité alors qu'en 2011 déjà, nous n'avions pu aller au bout de nos travaux de réingénierie. En ce sens, l'apport de la direction générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle (DGESIP) nous est précieux. Il me semble légitime de le souligner.

Enfin, je tiens à achever cet éditorial en rendant un hommage sincère et fort à Monsieur Guy Le Her qui s'est éteint le 24 avril dernier à l'âge de 95 ans. Avec sa disparition, c'est l'un des pères fondateurs de la profession que nous perdons, lui qui a œuvré sans relâche à faire entrer l'audioprothèse dans l'ère de la modernité en participant notamment à l'élaboration de la Loi N° 67-4 du 3 janvier 1967 définissant le statut et les modalités d'exercice de la profession d'audioprothésiste. L'ensemble du Collège s'associe pour exprimer son soutien à ses proches, dont François, son fils, président d'honneur du CNA.

À toutes et tous, je vous souhaite une très agréable lecture de ce numéro des Cahiers de l'Audition.

Matthieu DEL RIO



# Audioprothésistes vous êtes à l'écoute de nouvelles opportunités ?

## Rejoignez Audition Santé !

- **Un acteur majeur de l'audition, jeune et dynamique**  
soutenu par le groupe international Sonova.
- **Un développement ambitieux**  
près de 300 centres en France, nombreuses acquisitions et ouvertures dont «World of Hearing\*»  
concept pionnier de centre misant sur l'expérience auditive et l'innovation.
- **Proche de ses audioprothésistes**  
formation continue, matériel de pointe, communauté d'experts.
- **Proche de ses clients**  
accompagnement personnalisé, qualité de service et gamme d'aides la plus complète du marché.

## Envie de nous rejoindre ?

**Contactez :** Inès Coste - HR Business Partner

**Mail :** [recrutement@auditionsante.fr](mailto:recrutement@auditionsante.fr)

**Tel :** 07 50 66 52 49

\*Traduction française : le monde de l'audition.  
Sonova Audiological Care France SAS, au capital social de 58 800 000€ -  
RCS 423 228 915, 1134 Chemin du Bartassec 46000 CAHORS.

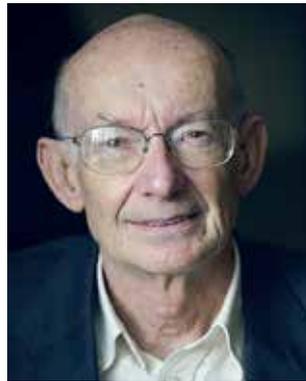
**AuditionSanté**   
Laboratoire de correction auditive

# EDITORIAL

PAR

**Professeur Paul AVAN**

Rédacteur en chef



La pression de l'actualité, tel pourrait être le titre de ce numéro des Cahiers de l'Audition. Elle nous pousse à chercher des solutions à des problèmes avant d'avoir pu cerner leur véritable nature. Les trois articles qui forment notre dossier en donnent des illustrations révélatrices.

Cédric Baillard nous livre une synthèse de la synaptopathie cochléaire. La motivation de son travail a émergé de l'arrêté du 14 novembre 2018, avec une nouvelle indication au port d'un appareillage auditif lors d'une dégradation significative de l'intelligibilité dans le bruit malgré l'absence d'indication en termes de seuils auditifs. Que se cache-t-il derrière ce profil délicat à gérer pour l'audioprothésiste ? Déjà 46 articles dans PubMed mais peu de certitudes. Le profil peut évoquer une synaptopathie cochléaire, entité récente démontrée chez quelques animaux de laboratoire. Hélas ceux-ci ne se sentent guère concernés par la parole dans le bruit, et le diagnostic repose sur les coupes histologiques. L'audioprothésiste se trouve donc livré à imaginer une solution à un problème dont par définition il n'a pas la preuve absolue. Le dossier médical est pauvre en termes de physiopathologie car, Cédric Baillard le récapitule, peu de tests objectifs sont sensibles à une synaptopathie. Et les tests de vocale dans le bruit présentent eux aussi des limitations diagnostiques. L'appareillage va donc nécessiter une inventivité certaine !

Autre notion d'une brûlante actualité, l'évaluation des capacités cognitives de la personne âgée, tant il est important qu'en cas de surdité, son appareillage contribue à maintenir ces capacités. L'un des tests les plus populaires auprès des médecins traitants est le Mini Mental State. Or ce test nécessite des consignes orales, que le port toujours recommandé du masque perturbe. C'est le travail d'Ana Doan de le documenter de manière très

approfondie, grâce à des simulations. Ses résultats sont très éclairants : selon les conditions de test, le score au MMS varie de manière importante (et ce sont des patients simulés). Comment alors juger d'un éventuel déclin cognitif, avec un biais non maîtrisé ? Et Ana Doan le suggère, si l'évaluation semi quantitative du fonctionnement cognitif des patients ne fait pas partie de la pratique courante, elle le devrait si on pense qu'elle peut

participer à prédire le succès ou non d'une réhabilitation audioprothétique

Enfin, Dorothée Jouan soulève la problématique du débit de parole, qui est liée à la fois aux capacités cognitives et auditives des sujets exposés à ce débit, et aux algorithmes de compression qui peuvent plus ou moins bien fonctionner selon la vitesse d'élocution à laquelle ils sont confrontés. Il est devenu classique que les spots publicitaires accélèrent les débits de parole, de même que les systèmes de visioconférence lorsque le réseau est perturbé, et l'écoute de ses messages téléphoniques en accéléré devient une technique répandue... L'actualité nous a donc devancés. Dorothée Jouan est plutôt rassurante, il y a bien un lien entre cognition et capacité à comprendre une parole rapide, un effet bénéfique de l'appareillage, et elle observe que les constantes de temps de la compression d'une aide auditive n'ont pas d'effet négatif sur la compréhension d'une parole rapide.

Le rôle de l'audioprothésiste est donc positif, dans les trois situations examinées dans le présent dossier et malgré le fait que les questions soulevées n'aient pas encore de cadre théorique très solide. Il est rassurant de constater que comme très souvent, l'identification des questions nouvelles aboutit à des actions pratiques avant que la recherche n'ait pleinement résolu ces questions.

**ReSound OMNIA**

Solution auditive conçue pour l'écoute dans le bruit

Essayez.  
Écoutez.  
Adaptez.

Avec **ReSound OMNIA**, vos clients classe II peuvent mieux entendre dans le bruit avec une amélioration jusqu'à 150% de la compréhension de la parole.\*

Cette prouesse est rendue possible grâce à notre audiologie exclusive Organic Hearing™.

Désormais disponible en mini-RIE, customs et BTE rechargeables.



**Nouveau mini-RIE !**



# LA SYNAPTOPATHIE COCHLÉAIRE : UNE SURDITÉ CACHÉE

## Auteur

Cédric Baillard

**Introduction** : La synaptopathie cochléaire entraîne des difficultés de compréhension dans le bruit sans élévation des seuils audiométriques.

**Problématique** : Comprendre la synaptopathie cochléaire : mécanismes, diagnostic et traitement.

**Matériel et méthode** : Équation Pubmed : (cochlear synaptopathy) AND (Hidden hearing loss). 46 articles sélectionnés et 11 articles utilisés par des recherches personnelles pour éclairer certaines notions.

**Revue systématique** : La synaptopathie cochléaire entraîne des modifications subtiles du codage de l'information sonore. Induite principalement par l'exposition au bruit et l'âge, des modifications au niveau moléculaire dont l'excès d'exocytose provoquent la rupture de la synapse entre CCI et NGS. Si ces synapses peuvent se reformer, celle-ci est imparfaite et les patients souffrent alors de difficultés de compréhension dans un milieu bruyant. Cependant les examens disponibles sont insuffisants pour établir un diagnostic. D'autres modèles doivent être proposés afin d'y parvenir.

**Discussion** : La complexité de la pathologie que représente la synaptopathie cochléaire rend son approche difficile. Comprendre ses mécanismes nous permettrait de cibler un traitement et de renforcer sa prévention.

## I. INTRODUCTION

### Contexte

La perte d'audition intervient de manière progressive dans la vie d'un individu. Des phénomènes de compensation se mettent en place au niveau central et il devient alors difficile de s'en rendre compte. C'est souvent l'entourage qui alerte l'individu sur sa propre perte d'audition.

Nous voyons à travers des dépistages de plus en plus de patients affirmant n'avoir aucun problème d'audition mais qui néanmoins auraient des difficultés à comprendre une conversation dans un environnement bruyant. Dans la littérature, on retrouve cette pathologie sous le terme générique de surdité cachée puisque, comme son nom l'indique, elle est difficile à mettre en évidence par les tests classiques effectués en cabine.

L'Arrêté du 14 novembre 2018 portant sur les modifications des modalités de prise en charge des aides auditives et des 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, présente une indication au port d'un appareillage auditif lors d'une « dégradation significative de l'intelligibilité en présence de bruit, définie par un écart de

rapport signal de parole / niveau de bruit (RSB en dB) de plus de 3dB par rapport à la norme ». Cette nouvelle indication devrait permettre aux audioprothésistes de proposer aux patients se plaignant de telles difficultés, une solution pour soulager leur quotidien. Cependant, quelques-uns de ces patients réussissent les tests, et nous ne sommes alors actuellement pas en mesure de leur proposer des solutions.

Plusieurs origines sont déjà avancées pour expliquer ces surdités cachées. Celles-ci pourraient venir d'un dysfonctionnement au niveau des cellules ciliées, des fibres du nerf auditif, ou des synapses les reliant. Cette dernière origine est définie comme une synaptopathie cochléaire. Elle concernerait en particulier les synapses entre les cellules ciliées internes et les fibres à bas seuil et haute activité spontanée. Ces fibres ont

un rôle établi dans le codage de la structure temporelle fine du signal et l'intelligibilité dans le bruit (Moore, 2008) : une anomalie à ce niveau expliquerait donc les difficultés éprouvées par les patients.

### Problématique

L'écriture de cet article s'est articulée autour de plusieurs questions : Quels sont les mécanismes qui sous-tendent la synaptopathie cochléaire ? Comment la dépister et la traiter ?

« QUELS SONT LES  
MÉCANISMES QUI SOUS-  
TENDENT LA SYNAPTOPATHIE  
COCHLÉAIRE ?  
COMMENT LA DÉPISTER  
ET LA TRAITER ? »

## II. REVUE DE LA LITTÉRATURE : LA SYNAPTOPATHIE COCHLÉAIRE, UNE SURDITÉ CACHÉE

La perte d'audition affecte des millions de personnes à travers le monde. Ces pertes d'audition sont traditionnellement diagnostiquées par des résultats d'audiométrie tonale montrant une élévation permanente des seuils d'audition. Ce manque d'audition est causé par la perte de CCE, CCI et/ou de neurones du ganglion spiral (NGS). L'élévation permanente du seuil d'audition a également pour conséquence des difficultés de compréhension dans le calme, dans le bruit ou encore des difficultés de localisation des sons dans l'espace.

Une étude menée en 2015 par Trembley et al. a essayé de quantifier la proportion de ces patients dans la population. Pour cela des tests d'audition standards (audiométrie tonale et vocale) ont été effectués chez 2783 participants. Plusieurs questions ont ensuite été posées aux patients pour évaluer leurs difficultés d'audition. Les réponses aux questions ont été normalisées et un score de difficulté d'audition est établi. Suite aux audiométries, 682 participants avaient des seuils audiométriques normaux. Parmi ces participants, 82 ont eu des scores montrant des difficultés d'audition. Le pourcentage de personnes ayant des difficultés de compréhension malgré des seuils audiométriques normaux est ainsi établi à 12% (82 sur 682) pour une prévalence générale de 2,9% (82 sur 2783) (Trembley et al., 2015).

### Les causes

#### - L'âge

Il a été montré que l'âge était une cause majeure de la synaptopathie. A travers le comptage des rubans synaptiques des CCI, les seuils de PDA et de PEAp à plusieurs étapes de la vie des souris, l'équipe de Sergeyenko et al. a pu montrer en 2013 que l'âge est un facteur de synaptopathie et donc, par extension, de surdité cachée (Sergeyenko et al., 2013). L'analyse confocale des rubans présynaptiques et de leurs récepteurs au glutamate postsynaptique montre que ce nombre diminue avec l'âge (Figure 1.1)

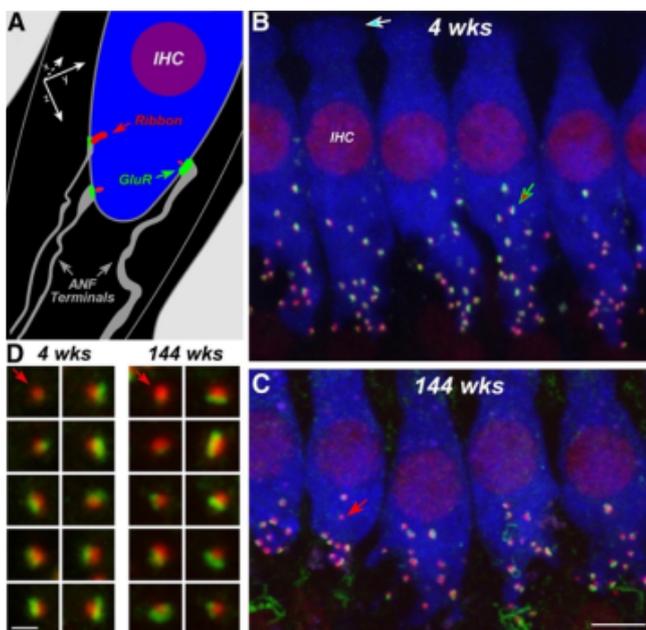


Figure 1.1 : Imagerie confocale des rubans présynaptiques et des récepteurs au glutamate postsynaptiques montrant la relation entre âge et SC (Sergeyenko et al., 2013)  
 A : Schéma représentant la synapse. B, C : Image des complexes pré et postsynaptiques à 4 semaines (B) et 144 semaines (C). D : Zoom sur les complexes pré et post synaptiques

Cette étude a également permis de faire la distinction entre la chute du nombre de rubans synaptiques chez les CCI et le maintien de ceux des CCE ainsi que la corrélation entre perte de synapses de CCI et perte d'amplitude de l'onde I des PEAp (Figure 1.2).

Une autre étude a démontré les mêmes résultats en se penchant sur l'amplitude de l'ASSR (Parthasarathy & Kujawa, 2018). Les résultats montrent une diminution de l'amplitude de l'ASSR chez les sujets plus âgés.

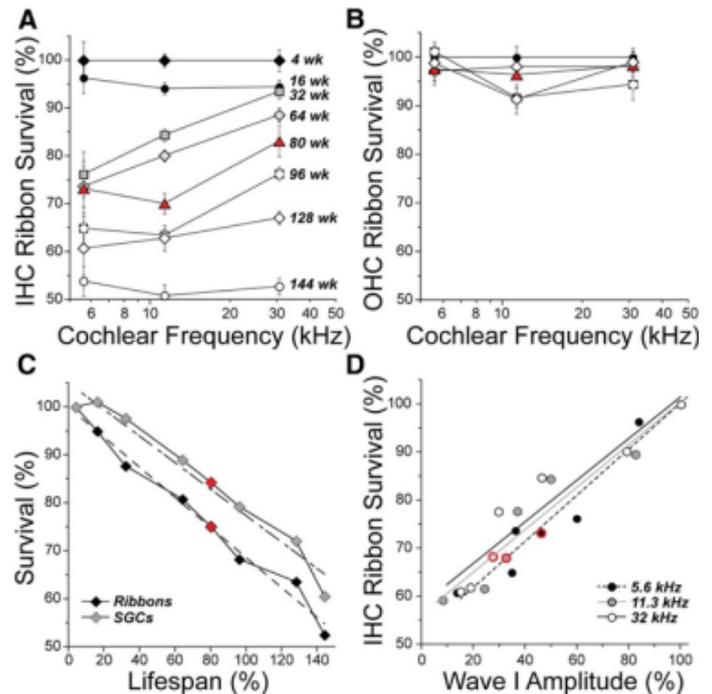


Figure 1.2 : Pourcentage de rubans synaptiques sous plusieurs conditions (Sergeyenko et al., 2013)  
 A : Pourcentage de rubans synaptiques des CCI en fonction de la fréquence à différents âges  
 B : Pourcentage de rubans synaptiques des CCE en fonction de la fréquence à différents âges  
 C : Pourcentage de rubans synaptiques des CCI et de cellules ganglionnaires à différents âges  
 D : Pourcentage de rubans synaptiques des CCI en fonction de l'amplitude de l'onde I à 5.6, 11.3 et 32 kHz

#### - L'exposition au bruit

Nombre des études révèlent que l'exposition au bruit est une autre cause de la perte de synapses entre les CCI et le nerf auditif. Il a également été montré que l'exposition au bruit provoque une élévation des seuils d'audition mais que celle-ci est réversible. On parle alors de perte d'audition temporaire (ou TTS pour Temporary Threshold Shifts). Avec le temps, 2 à 3 semaines selon l'exposition, les seuils auditifs retrouvent des valeurs normales.

La plupart de ces études ont été faites chez l'animal. Chez les souris (Kujawa & Liberman, 2009), les rats (Lobarinas et al., 2017) ou les cochons d'inde (Shi et al., 2013, 2016) et montrent que l'exposition au bruit entraîne une surdité cachée. En effet une exposition au bruit (100 dB SPL pendant 2h) a pour conséquence une élévation temporaire des seuils auditifs qui se rabaisseront après quelques semaines.

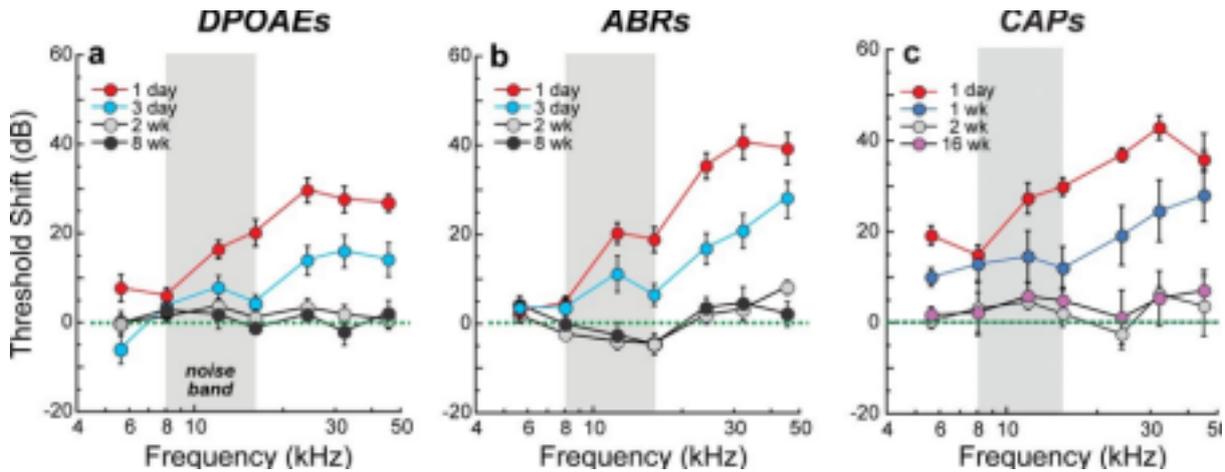


Figure 2.1 : Intensité des PDA (a), PEAp (b) et PA (c) (Fernandez et al. 2015) a et b : 1 jour, 3 jours, 2 semaines et 8 semaines post exposition c : 1 jour, 1 semaine, 2 semaines et 8 semaines post exposition

Une autre étude vient apporter des précisions quant à l'exposition au bruit et la SC. L'équipe de Fernandez et al. 2015 a comparé les effets de 2 expositions différentes chez la souris, 100 dB SPL et 91 dB SPL pendant 2H. Les résultats sont rapportés à des sujets contrôles du même âge. Il a été montré que l'exposition à 91 dB SPL ne provoque pas de synaptopathie, en particulier pour les hautes fréquences. La figure 2.2 compare les seuils de PEAp 1 jour et 2 semaines post exposition ainsi que le pourcentage de survie des synapses.

Il apparaît ainsi que la SC liée au bruit est dose-dépendante (Fernandez et al., 2015).

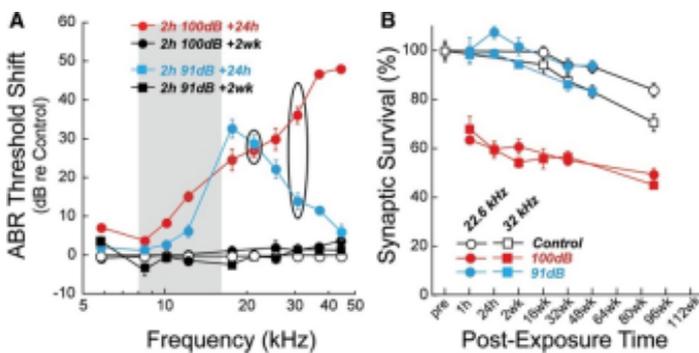


Figure 2.2 : Seuils de PEAp après 2H d'exposition à 100 dB et 91 dB SPL en fonction de la fréquence (Fernandez et al., 2015) (a). Pourcentage de synapses effectives après 2h d'exposition à 100 dB et 91 dB SPL en fonction du temps (b).

**Les mécanismes cellulaires**

Certaines des connexions synaptiques entre CCI et cellule neuronale qui ont disparu suite à l'exposition au bruit se reforment (Shi et al., 2016; Song et al., 2016). En effectuant le comptage de rubans présynaptiques/CCI on s'aperçoit effectivement qu'avec le temps, quelques reconnections se forment. Mais cette reformation est hasardeuse et la distribution de connexions entre CCI et cellule neuronale à faible activité spontanée ou à haute activité spontanée est modifiée.

Une autre étude a montré qu'une réorganisation des synapses s'effectuait lorsque celles-ci étaient déconnectées (Sargsyan et al., 2021). Les aminoglycosides étant établis comme ototoxiques, l'effet combiné d'injections de gentamicine (de la

famille des aminoglycosides) et de furosémide (antidiurétique qui accentue l'effet de la gentamicine) sur les synapses cochléaires a été étudié. Il apparaît que les effets d'une telle injection sont dose dépendants et qu'elle n'a pas de conséquence directe sur le nombre de rubans présynaptiques. En revanche les tests électrophysiologiques nous montrent qu'il y aurait une réorganisation de ces synapses entre les fibres à faible activité spontanée et celles à haute activité spontanée.

**Les mécanismes moléculaires**

A ce jour, en plus de la mauvaise réparation des synapses des CCI suite à leur déconnexions des cellules neuronales, un mécanisme moléculaire a été démontré pour expliquer la surdité cachée liée à la synaptopathie cochléaire : l'excès d'exocytose présynaptique.

En utilisant un agoniste au glutamate, l'acide Kainique, l'étude de Wilson et al. (2021) a montré que l'excès d'exocytose, qui se produirait supposément lors d'une trop forte exposition au bruit, avait des effets comparables à ceux d'une SC. En étudiant les conséquences de l'acide Kainique sur l'ASSR et les PEA, ils ont montré une décroissance de l'amplitude des deux ondes (Wilson et al., 2021). De même, l'étude menée par Zhao et al. (2021) a montré qu'un excès de K<sup>+</sup> extracellulaire a un effet dose-dépendant sur la diminution du nombre de rubans synaptiques (Figure 3.1).

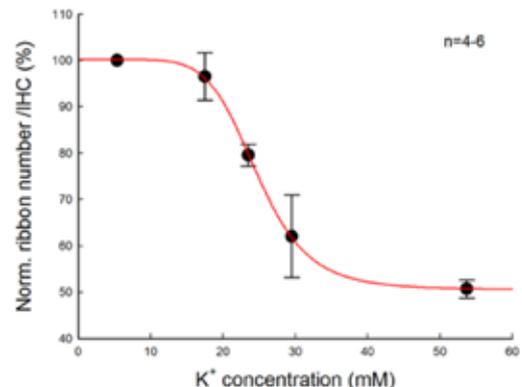
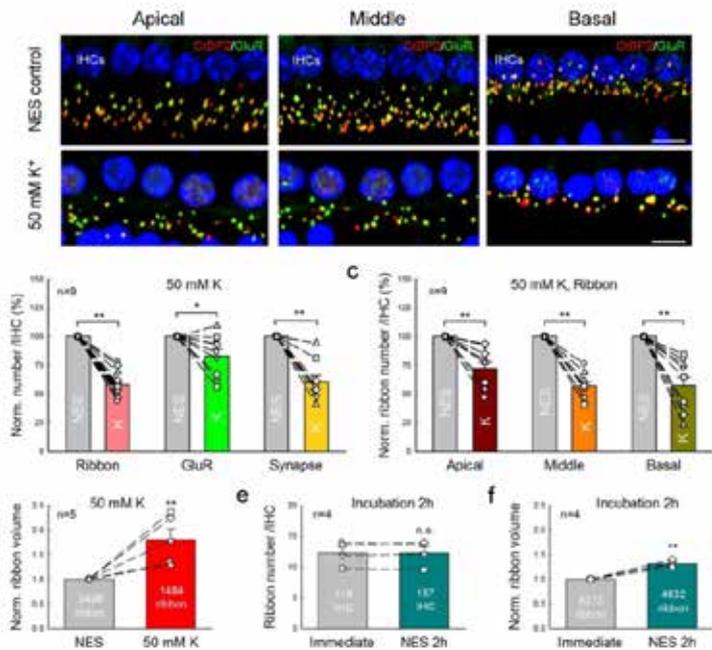


Figure 3.1 : Nombre de rubans synaptiques/CCI en fonction de la concentration en K<sup>+</sup> (Zhao et al., 2021)

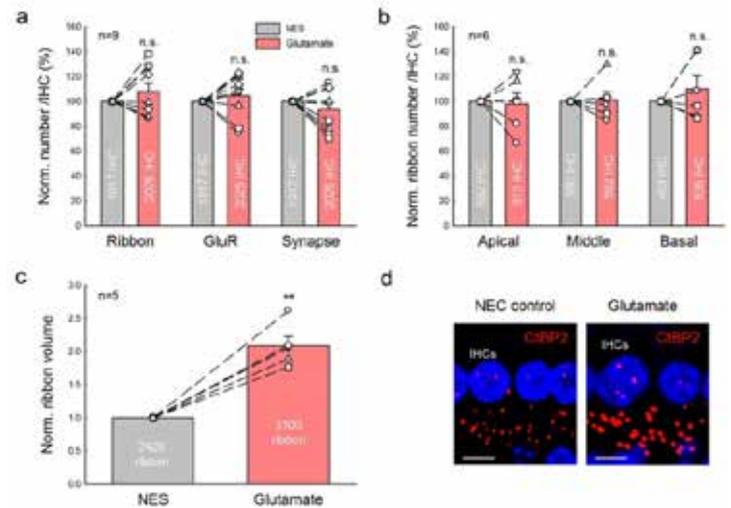
Un nombre décroissant de rubans synaptiques est observé, ajouté à l'augmentation de la taille de ces derniers (Figure 3.2). Ces deux effets peuvent cependant être atténués en utilisant un agent bloquant des canaux sodium-dépendants tandis qu'un agent bloquant les canaux K<sup>+</sup> dépendant n'a d'effet que sur la limitation de la dégénération des rubans synaptiques (Zhao et al., 2021).



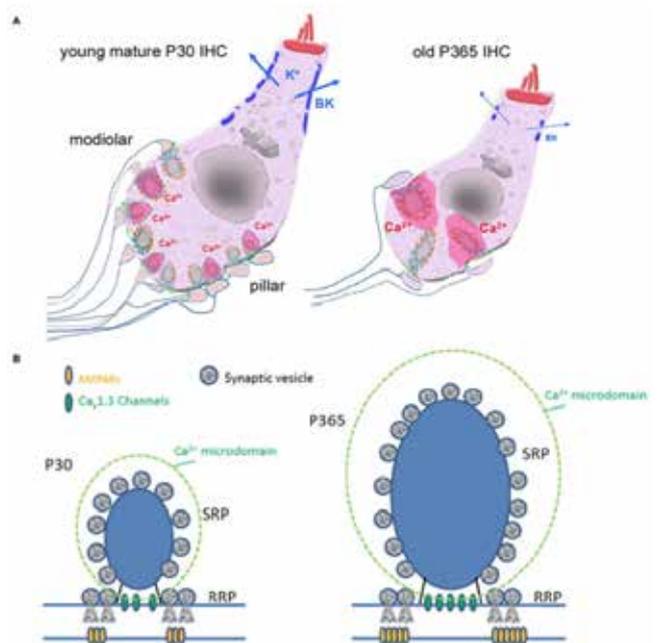
**Figure 3.2 : Une forte concentration en K<sup>+</sup> induit la dégénérescence des rubans synaptiques des CCI (Zhao et al., 2021)**  
 (a) Immunofluorescence des rubans synaptiques en position apicale, intermédiaire et basale des CCI après incubation avec du K<sup>+</sup> ou non  
 (b) Nombre de rubans, GluR et synapses après incubation avec du K<sup>+</sup> ou non  
 (c) Comptage des rubans/CCI après incubation avec du K<sup>+</sup>  
 (d) Volume des rubans en présence de K<sup>+</sup>  
 (e) Nombre de rubans en fonction du temps d'incubation  
 (f) Volume des rubans en fonction du temps d'incubation

Cette étude s'est également intéressée à l'application d'un agoniste au récepteur au glutamate qui a pour conséquence l'augmentation de la taille des rubans sans pour autant en diminuer le nombre (Figure 3.3). Ces résultats nous indiquent que l'exocytose du glutamate, même si elle n'est pas l'unique mécanisme de la dégénération des rubans synaptiques, joue un rôle dans la SC.

Une récente étude menée par une équipe de Bordeaux (Peineau et al., 2021) a démontré plusieurs effets de l'âge sur les synapses cochléaires. Il a été également observé une réduction du nombre de synapses entre CCI et cellules neuronales, une réduction de la taille des CCI ainsi qu'un élargissement du ruban synaptique. Ces effets ont des conséquences sur l'exocytose puisque cela entraîne une augmentation de la concentration de calcium dans les cellules présynaptiques ainsi qu'une perturbation des canaux potassium-dépendants. Ce dernier effet joue sur la neurotransmission puisque ce sont ceux-ci qui effectuent un rétrocontrôle négatif sur la libération de neurotransmetteur. Ces effets sont résumés sur un schéma sur la figure 3.4.



**Figure 3.3 : Le glutamate provoque une augmentation de volume des rubans synaptiques sans en diminuer le nombre (Zhao et al., 2021)**  
 (a) Nombre de rubans, GluR et synapse/CCI après exposition à un agoniste au glutamate  
 (b) Nombre de rubans/CCI à différentes localisation après exposition au glutamate  
 (c) Volume des rubans après exposition au glutamate  
 (d) Immunofluorescence des rubans après exposition au glutamate



**Figure 3.4 : Schémas représentant la taille et le volume des CCI (a) et des rubans (b) chez des souris jeunes (P30) ou âgées (P365) (Peineau et al., 2021)**

**Diagnostic**

La surdité cachée, qu'elle ait pour origine la synaptopathie cochléaire ou non, a été conceptualisée par l'incapacité des tests de routine clinique à la mettre en évidence (Schaeffe & McAlpine, 2011). Il a été montré que la dégénérescence des synapses cochléaires survenait avant la perte de CC et qu'elle était indétectable par l'audiométrie tonale conventionnelle.



**NOUS RECRUTONS  
PARTOUT EN FRANCE**

**REJOIGNEZ NOS ÉQUIPES !**

 **01 84 25 46 43**

 **recrutement@ideal-audition.fr**



Dès lors, plusieurs études tentent de mettre au point un ou plusieurs examens, objectifs ou subjectifs, qui permettraient de diagnostiquer la SC chez l'Homme et ainsi d'objectiver les difficultés qu'ont les patients qui en sont atteints à comprendre dans le bruit, malgré des seuils audiométriques normaux, d'une part concernant les examens électrophysiologiques, et d'autres part les examens subjectifs utilisés au quotidien en médecine ORL ou par les audioprothésistes.

Par la suite, nous verrons que de nouveaux liens avec d'autres pathologies (modifications du réflexe stapédien, acouphènes, hydrops endolymphatique) pourraient apporter de nouvelles pistes de diagnostic.

## - Examens électrophysiologiques

Les PEAp sont utilisés pour s'assurer que l'onde sonore, après transduction entre signal mécanique et signal électrique dans la cochlée, est transmise correctement aux structures nerveuses. La SC modifie l'amplitude de l'onde I (Lee et al., 2020) chez l'animal et certaines études montrent qu'elle aurait également un effet sur l'onde V chez l'Homme (Mehraei et al., 2016). L'étude menée par Ridley en 2018 arrive à la même conclusion en apportant des données supplémentaires concernant la modification du ratio SP/AP et des seuils audiométriques dans le bruit (Ridley et al., 2018). Ce dernier point est remis en question puisqu'il a été précédemment démontré que 90% de perte de l'afférence nerveuse auditive ne produirait une élévation que de 5 dB, que ce soit dans le calme ou dans le bruit, chez l'animal (Henry & Abrams, 2021). De plus, l'équipe de Bao et al.

(2022) indique que l'utilisation de la courbure de l'onde des PEAp serait plus précise pour émettre un diagnostic que l'étude traditionnelle de leur amplitude (Bao et al., 2022).

La mixité des résultats quant à la validation de l'utilisation de tests électrophysiologiques pour diagnostiquer une SC chez l'Homme soulève plusieurs questions. En ne parvenant pas à mettre en relation la présence de SC et la fiabilité des examens objectifs, Guest et al.

(2018) émet l'hypothèse que chez les sujets jeunes, une compensation se mettrait en place au niveau central et permettrait d'avoir des résultats normaux (Guest et al., 2018). Une autre hypothèse est avancée par l'équipe de Bharadwaj et al. (2019), la SC aurait des degrés différents, ce qui entraînerait des résultats électrophysiologiques peu reproductibles et non efficaces à détecter la pathologie (Bharadwaj et al., 2019).

Enfin, une étude met de la distance avec l'étude des PEAp ou de l'ASSR quant à la validation des résultats chez l'Homme puisque, tandis que les résultats peuvent être confirmés chez l'animal par l'analyse de tissus post mortem, une telle validation n'est pas possible chez l'humain (Plack et al., 2016).

En utilisant cependant les PEAp, les PDA, et en faisant appel à l'intelligence artificielle, l'équipe de Bramhall et al. (2018) tente d'établir un algorithme qui prédirait quantitativement le nombre de synapses cochléaires en fonction des résultats à ces tests (Bramhall et al., 2018).

L'élaboration d'un tel algorithme, bien que prometteur, nécessite encore d'être perfectionnée afin d'avoir une stabilité des prédictions.

## - Examens subjectifs

Évaluer la surdité cachée liée à la perte de synapses entre CCI et NGS n'est, par définition, pas toujours aisé en utilisant les tests subjectifs disponibles pour les médecins ORL ou les audioprothésistes. Puisque les seuils audiométriques tonaux

sont normaux, plusieurs études ont essayé de la mettre en évidence par l'utilisation de matériel vocal.

La pluralité des tests disponibles utilisant des supports vocaux différents, et des conditions d'examen qui leurs sont propres, n'ont pas tous la même affinité à révéler une synaptopathie cochléaire. Par ailleurs, une récente revue de la littérature s'intéressant particulièrement aux différents tests et à leur capacité à mettre en évidence la SC nous révèlent qu'il n'y en a, à ce jour, très peu capable d'établir un diagnostic avec fiabilité (DiNino et al., 2022).

Plusieurs hypothèses sont avancées quant au manque d'efficacité des tests :

### - La SC provoque des déficits trop subtils pour être mis en évidence par les examens vocaux disponibles.

La SC affecte principalement les fibres à faible activité spontanée. Ces dernières sont utilisées pour détecter des sons à haute intensité et permettent la discrimination de la parole dans un environnement bruyant. La dégénération des fibres nerveuses auditives liée à la SC n'altère donc pas la détection d'un son mais le codage de ce qu'il contient. La plupart des tests de perception étant définie pour qualifier la perte d'audition en termes de perte de sélectivité fréquentielle, ceux-ci ne sont donc pas sensibles à la SC. Ainsi, l'utilisation des « Worlds in Broadband Noise Test », « Words in Noise Test » ou « QuickSIN Test » qui utilisent des niveaux décroissants de RSB ne sont pas assez sensibles à la SC.

### - L'utilisation de matériel vocal contenant du contexte fait appel à des facteurs non sensoriels

Utiliser des phrases comme matériel vocal implique pour le patient d'être capable de comprendre le vocabulaire utilisé ou d'avoir une bonne mémoire de travail. De plus, les indices syntaxiques et sémantiques des phrases peuvent permettre au sujet de « combler les manques » de ce qu'il a entendu et ainsi réussir le test malgré une déficience auditive.

Ainsi, utiliser des listes ouvertes ou fermées réduit la demande en terme mémoire de travail ou l'utilisation d'indices syntaxiques et sémantiques permettant d'obtenir des résultats plus ou moins probants. La moitié des examens utilisant des mots dans ce contexte arrivent à mettre en évidence la SC. L'utilisation de tels tests soumet une question : **pour diagnostiquer une SC faut-il minimiser la nécessité de facteurs cognitifs au détriment de la validité écologique de l'examen ou à défaut de test plus fiable, mettre de côté la valeur écologique de l'examen pour s'amputer des biais cognitifs ?**

### - L'implication d'indices temporels est inégale selon les examens

Pour parvenir à séparer un signal utile (la parole que l'on veut percevoir) d'un environnement bruyant (que ce soit un bruit fluctuant, stable, ou d'autres signaux de parole) nous utilisons des indices d'amplitude temporelle, de hauteur et la localisation spatiale. Le bruit a pour effet de masquer la parole et ainsi diminuer la modulation de son amplitude, une caractéristique variant sur quelques dizaines de millisecondes. Mais selon le matériel utilisé pour masquer (en particulier pour un bruit stable), la diminution de l'amplitude de la parole pourrait ne pas être suffisante à démontrer une SC. Utiliser un signal de parole similaire (donc avec des modulations d'amplitude similaire) pourrait toutefois avoir un effet plus marqué sur ce paramètre. Séparer deux signaux de paroles est également possible en utilisant la différence de hauteur.

Des études montrent qu'un écart de quelques demi-tons dans les fréquences fondamentales est suffisant pour discriminer deux sources de parole distinctes (Binns & Culling, 2007). La précision du codage temporel nécessaire est alors de quelques millisecondes. Utiliser une source de parole prononcée par un locuteur différent pour masquer le signal utile pourrait alors ne pas être sensible à la détection d'une SC. Un autre indice utilisé pour séparer signal et bruit est la localisation spatiale. En effet, la différence interaurale de temps semble être l'indice le plus précis pour discriminer deux sources sonores puisqu'elle requiert une précision temporelle de 10 à 100 microsecondes. Cependant, l'angle entre le sujet et les sources de parole est à préciser puisqu'un angle de 60° ou de 90° n'a montré aucun résultat significatif.

L'étude nous rapporte que la seule manière de montrer une sensibilité à la SC est de placer les sources sonores suffisamment proches de telle sorte que même un individu ayant une bonne résolution temporelle doit se concentrer pour réussir l'examen.

**- Réflexe Stapédien (RS)**

Les fibres à activité spontanée faible, qui comme nous l'avons vu sont les principales impactées lors d'une SC, participent également au réflexe stapédien (Kobler et al., 1992; Liberman & Klang, 1984). L'étude de la relation entre SC et RS montre que ce dernier pourrait être un bon outil de diagnostic pour mettre en évidence une SC (Valero et al., 2018).

Cette étude réalisée sur des souris CBA/CaJ montre une augmentation jusqu'à 17 dB du seuil de déclenchement du RS (Figure 4).

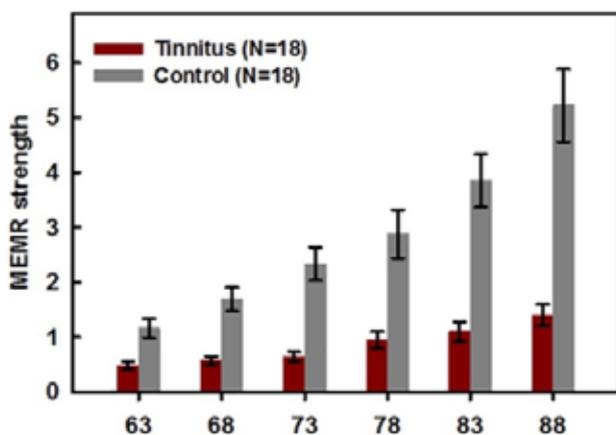


Figure 4 : Intensité du RS à différent niveaux de stimulation controlatérale (Valero et al., 2018)

Malgré ces résultats, 2 études ne montrent aucun lien entre RS et exposition au bruit (Causon et al., 2020; Guest et al., 2018). Ces études réalisées chez l'Homme n'obtiennent pas les mêmes résultats que celles citées précédemment. Cependant, l'absence de relation entre exposition au bruit et baisse d'intensité du RS peut être due à la méthode utilisée pour obtenir le dit réflexe.

En effet, comme précisé par l'équipe de Valtero et al., la mesure clinique classique du RS est réalisée en utilisant un son à 226 Hz. Cependant cette stimulation est insuffisante à montrer une altération du RS et doit être remplacée par une large bande ciblée sur la zone suspectée de SC ou à défaut d'un clic.

**- Hydrops endolymphatique**

L'exposition au bruit (100 dB SPL pendant 2H) entraîne une diminution du nombre de synapses en CCI et cellule neuronale. Un autre effet méconnu de l'exposition au bruit est l'apparition d'un hydrops endolymphatique. En comparant l'effet de l'exposition à 95 dB SPL et 100 dB SPL pendant 2h chez des souris, l'équipe de Badash et al. (2021) a montré que la première exposition n'avait aucun effet sur la diminution de synapses ni sur un éventuel hydrops tandis que l'exposition à 100 dB montrait à la fois une diminution des synapses et l'apparition d'un hydrops endolymphatique (Badash et al., 2021). Cette étude nous indiquerait que ces deux pathologies pourraient être causées par le même mécanisme.

**Traitement thérapeutique**

A ce jour, aucun protocole n'existe pour les audioprothésistes pour aider les patients atteints de synaptopathie ni aucun traitement médicamenteux pour les médecins ORL. Il y a cependant plusieurs études de recherche fondamentale qui montrent une potentielle réversibilité de cette atteinte.

Nous avons vu précédemment que l'injection d'acide kaïnique augmentait l'exocytose de glutamate dans les synapses entre les CCI et les cellules neuronales (Wilson et al., 2021).

L'équipe de Han et al. (2019) a étudié l'injection d'istradefylline, un antagoniste au récepteur A2 à l'adénosine déjà ciblé contre certaines maladies neurodégénératives, sur des tissus cochléaires issus de souris, préalablement incubés avec un mélange d'acide kaïnique et de NMDA, un agoniste au récepteur au glutamate. L'étude a montré que l'injection d'istradefylline permettait de réduire l'exocitotoxicité de l'acide kaïnique en restaurant les synapses entre CCI et NGS (Han et al., 2019) (Figure 5.1)

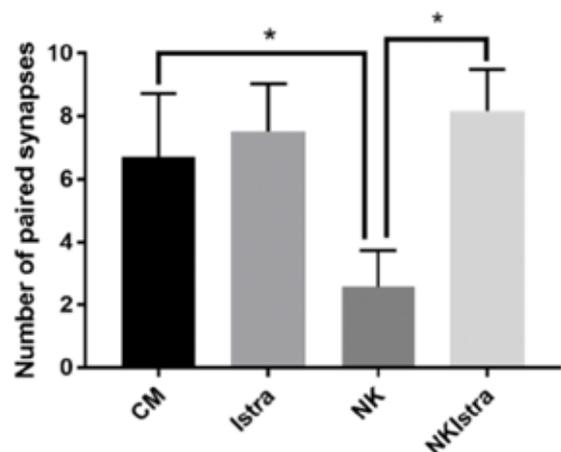


Figure 5.1 : Nombre de synapses en fonction de l'incubation dans différents milieux de culture (Han et al., 2019) : CM (condition standard), Istra (présence d'istradefylline), NK (Acide Kaïnique) et NKIstra (Acide Kaïnique + Istradefylline)

Une autre approche est proposée par l'équipe de Seist et al. (2020). Après avoir exposé des souris au bruit, puis les avoir traité avec du Zoledronate (un biphosphonate, déjà utilisé pour inhiber l'apoptose des NGS et la dégénérescence des progéniteurs de cellules cochléaires) cette équipe a étudié les seuils des ABR, des PDA et de l'onde I (Figure 5.2) ainsi que compté le nombre de rubans synaptiques (Figure 5.3). Les résultats indiquent que le biphosphonate serait une molécule intéressante en thérapeutique puisqu'ils montrent une restauration des paramètres électrophysiologiques étudiés

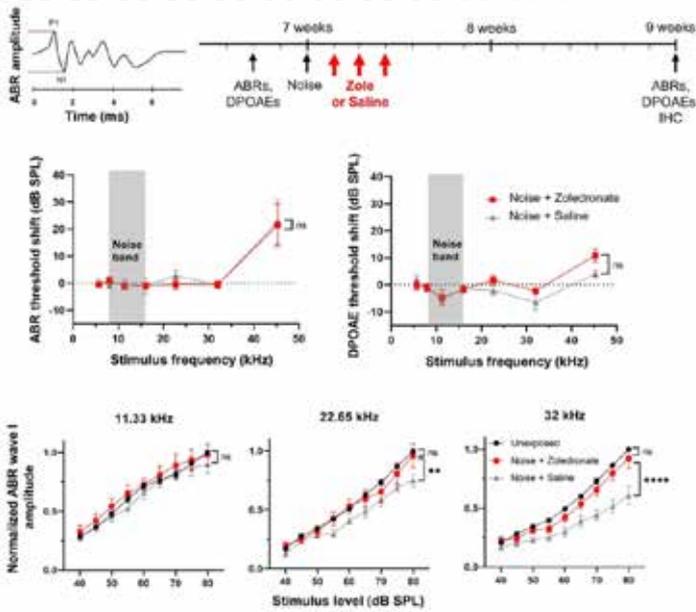


Figure 5.2 : Réponses électrophysiologiques des seuils de PEA, PDA et de l'amplitude de l'onde I après exposition au bruit administration d'un biphosphonate ou non (Seist et al., 2020)

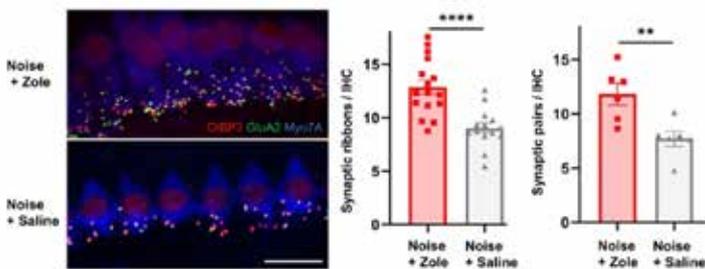


Figure 5.3 : Immunohistochimie, nombre de rubans/CCI et nombre de synapses/CCI après exposition au bruit et administration d'un biphosphonate ou non (Seist et al., 2020)

(Seist et al., 2020).

Il a également été montré que l'injection de l'agoniste au récepteur au glutamate LY354740 chez des souris préalablement exposé au bruit et montrant une SC, permettait de rétablir des réponses électrophysiologiques normales et serait ainsi une piste thérapeutique pour soigner les SC (Mahdi et al., 2022).

D'autres études se sont penchées sur l'effet des neurotrophines sur la synaptogenèse. Les neurotrophines sont des facteurs peptidiques essentiels pour la survie et la différenciation des neurones du système nerveux périphérique au cours du développement. En utilisant des molécules analogues à la NT-3 (1Aa et Ris-1Aa) (Kempfle et al., 2021) ou des agonistes à leur récepteur Trk (amitriptyline (AT) et 7,8-dihydroxyflavone (DHF)) (Fernandez et al., 2021) in-vitro sur des tissus modèles de SC, il a été montré que ces molécules pouvait restaurer les synapses entre CCI et SNG et également que l'administration en préventif pouvait prévenir la dégénérescence des synapses (Figure 5.4) (Fernandez et al., 2021).

Une autre étude menée par Szobota et al. (2019) avait trouvé les mêmes résultats en utilisant la NT-3, un de ses agonistes la BDNF ou un anticorps monoclonal au récepteur Trk (M3) sur des modèles ex-vivo de cochlée de rat (Szobota et al., 2019).

La protéine RGMa joue un rôle dans le développement en bloquant la synaptogenèse ce qui permet la formation neuronale. En étudiant un anticorps anti RGMa, l'équipe de

Nevoux et al. (2021) a montré que les effets de la protéine sont bloqués et la synaptogenèse dans l'oreille interne est possible (Figure 5.5) (Nevoux et al., 2021). Ceci est une nouvelle cible thérapeutique et permettrait de recréer les synapses détruites suite à l'exposition au bruit

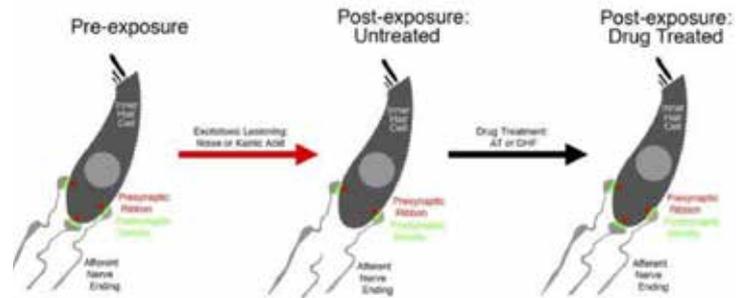


Figure 5.4 : Schéma représentant l'effet de l'administration d'agonistes au récepteur Trk sur le nombre de synapses après exposition au bruit (Fernandez et al., 2021)

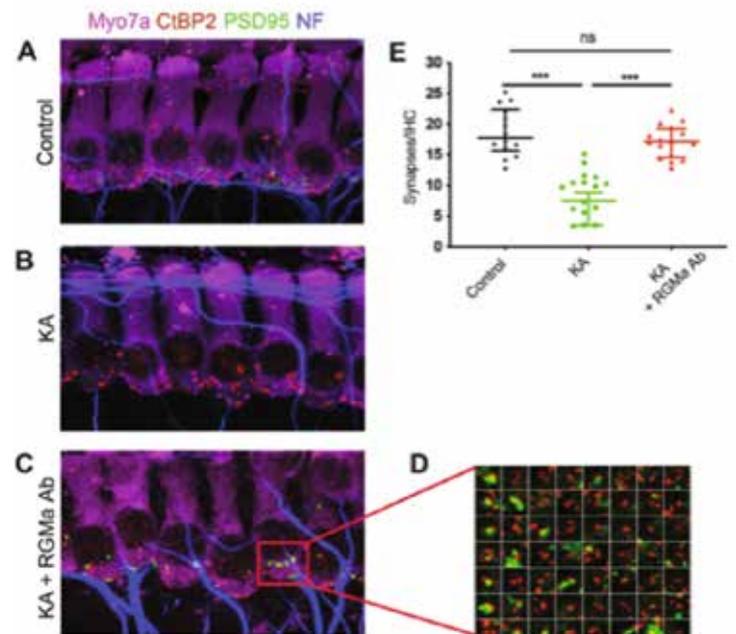


Figure 5.5 : Effet de l'administration d'un anticorps anti-RGMA sur la synaptogenèse (Nevoux et al., 2021) (a), (b), (c) (d) : Immunohistochimie représentant le nombre de synapses en milieu contrôle (a), en présence d'acide Kaïnique (b), en présence d'acide Kaïnique + anticorps anti-RMGa (c) zoomé (d) (e) Nombre de synapses suivant les conditions (a), (b) et (c)

### III. DISCUSSION

#### - Synthèse

Pendant de nombreuses années, la perte d'audition neurosensorielle était attribuée à la perte de cellules ciliées. Aujourd'hui nous savons que la perte de synapses entre cellules ciliées et cellules neuronales intervient avant la dégénération des cellules cochléaires. On parle alors de dégénération neuronale primaire (la perte de cellules ciliées étant la dégénération neuronale secondaire) et dans notre cas de synaptopathie cochléaire. Si cette dernière a été longtemps méconnue, c'est qu'elle intervient en particulier pour les synapses reliant CCI et neurones des fibres à faible activité

spontanée, codant entre autres, pour les sons de forte intensité ou permettant le décodage du signal en présence de bruit. La synaptopathie était alors indétectable puisque l'audiométrie tonale conventionnelle fait intervenir les fibres à haute intensité spontanée codant pour les sons faibles. On parle alors de surdité cachée.

Depuis, de nombreuses études se penchent sur le sujet en essayant d'en établir les causes, de trouver un examen fiable pour la détecter et mettre un point un traitement. Si les causes de la SC commencent à être identifiées, comme l'exposition au bruit prolongée ou l'âge, établir un diagnostic n'est toujours pas facilement réalisable, faute au manque d'affinité des examens disponibles avec les subtiles modifications de codage qu'entraîne la SC. La possibilité d'établir un traitement médicamenteux n'est pas non plus validée. Les études sont à un stade de recherche fondamentale sur des cellules de culture et nous sommes loin de pouvoir proposer un traitement efficace.

Enfin, et grâce à la lecture de nombreux articles, nous avons proposé un modèle d'examen en français nécessitant une forte capacité de codage temporel. Ce modèle n'a pas été testé et nous n'avons donc aucune certitude quant à sa capacité à mettre en évidence une SC.

De futures études utilisant un même principe devraient être menées afin de démontrer ou non sa fiabilité.

Du point de vue de l'audioprothèse, l'appareillage auditif paraît complexe pour les sujets atteints de SC. D'une part les seuils auditifs sont normaux et ne nécessitent donc pas d'amplification de volume, d'autre part les patients ont des difficultés à comprendre dans le bruit et ont ainsi besoin d'une aide. Plusieurs outils pourraient être envisagés comme l'utilisation d'un micro déporté ou celle d'appareils auditifs dit hauts de gamme, qui ne seraient pas utilisés pour l'amplification du volume, mais pour leur capacité à faire émerger la parole dans le bruit. En utilisant un embout sur mesure fermé, nous avons la possibilité de contrôler le plus finement possible le son perçu par les patients.

Nous pouvons ainsi utiliser les algorithmes des aides auditives afin de séparer la parole du bruit et les aider dans la compréhension.

#### IV. BIBLIOGRAPHIE

■ Badash, I., Qui ones, P. M., Oghalai, K. J., Wang, J., Lui, C. G., Macias-Escriva, F., Applegate, B. E., & Oghalai, J. S. (2021). Endolymphatic Hydrops is a Marker of Synaptopathy Following Traumatic Noise Exposure. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 9, 747870. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.747870>

■ Bao, J., Jegede, S. L., Hawks, J. W., Dade, B., Guan, Q., Middaugh, S., Qiu, Z., Levina, A., & Tsai, T.-H. (2022). Detecting Cochlear Synaptopathy Through Curvature Quantification of the Auditory Brainstem Response. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 16, 851500. <https://doi.org/10.3389/fncel.2022.851500>

■ Bharadwaj, H. M., Mai, A. R., Simpson, J. M., Choi, I., Heinz, M. G., & Shinn-Cunningham, B. G. (2019). Non-Invasive Assays of Cochlear Synaptopathy—Candidates and Considerations. *Neuroscience*, 407, 53-66. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2019.02.031>

■ Bramhall, N. F., McMillan, G. P., Kujawa, S. G., & Konrad-Martin, D. (2018). Use of non-invasive measures to predict cochlear synapse counts. *Hearing Research*, 370, 113-119. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.10.006>

■ Causon, A., Munro, K. J., Plack, C. J., & Prendergast, G. (2020). The Role of the Clinically Obtained Acoustic Reflex as a Research Tool for Subclinical Hearing Pathologies. *Trends in Hearing*, 24, 2331216520972860. <https://doi.org/10.1177/2331216520972860>

■ DiNino, M., Holt, L. L., & Shinn-Cunningham, B. G. (2022). Cutting Through the Noise : Noise-Induced Cochlear Synaptopathy and Individual Differences in Speech Understanding Among Listeners With Normal Audiograms. *Ear and Hearing*, 43(1), 9-22. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001147>

■ Fernandez, K. A., Jeffers, P. W. C., Lall, K., Liberman, M. C., & Kujawa, S. G. (2015). Aging after noise exposure : Acceleration of cochlear synaptopathy in « recovered » ears. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 35(19), 7509-7520. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5138-14.2015>

■ Fernandez, K. A., Watabe, T., Tong, M., Meng, X., Tani, K., Kujawa, S. G., & Edge, A. S. (2021). Trk agonist drugs rescue noise-induced hidden hearing loss. *JCI Insight*, 6(3), 142572. <https://doi.org/10.1172/jci.insight.142572>

■ Guest, H., Munro, K. J., Prendergast, G., Howe, S., & Plack, C. J. (2017). Tinnitus with a normal audiogram : Relation to noise exposure but no evidence for cochlear synaptopathy. *Hearing Research*, 344, 265-274. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2016.12.002>

■ Guest, H., Munro, K. J., Prendergast, G., Millman, R. E., & Plack, C. J. (2018). Impaired speech perception in noise with a normal audiogram : No evidence for cochlear synaptopathy and no relation to lifetime noise exposure. *Hearing Research*, 364, 142-151. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.03.008>

■ Henry, K. S., & Abrams, K. S. (2021). Normal Tone-In-Noise Sensitivity in Trained Budgerigars despite Substantial Auditory-Nerve Injury : No Evidence of Hidden Hearing Loss. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 41(1), 118-129. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2104-20.2020>

■ Kempfle, J. S., Duro, M. V., Zhang, A., Amador, C. D., Kuang, R., Lu, R., Kashemirov, B. A., Edge, A. S., McKenna, C. E., & Jung, D. H. (2021). A Novel Small Molecule Neurotrophin-3 Analogue Promotes Inner Ear Neurite Outgrowth and Synaptogenesis In vitro. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 15, 666706. <https://doi.org/10.3389/fncel.2021.666706>

■ Kobler, J. B., Guinan, J. J., Vacher, S. R., & Norris, B. E. (1992). Acoustic reflex frequency selectivity in single stapedius motoneurons of the cat. *Journal of Neurophysiology*, 68(3), 807-817. <https://doi.org/10.1152/jn.1992.68.3.807>

■ Kujawa, S. G., & Liberman, M. C. (2009). Adding insult to injury : Cochlear nerve degeneration after « temporary » noise-induced hearing loss. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 29(45), 14077-14085. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2845-09.2009>

■ Lee, J.-H., Lee, M. Y., Choi, J. E., & Jung, J. Y. (2020). Auditory Brainstem Response to Paired Click Stimulation as an Indicator of Peripheral Synaptic Health in Noise-Induced Cochlear Synaptopathy. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 596670. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.596670>

■ Liberman, M. C., & Klang, N. Y.-S. (1984). Single-neuron labeling and chronic cochlear pathology. IV. Stereocilia damage and alterations in rate- and phase-level functions. *Hearing Research*, 16(1), 75-90. [https://doi.org/10.1016/0378-5955\(84\)90026-1](https://doi.org/10.1016/0378-5955(84)90026-1)

■ Lobarinas, E., Spankovich, C., & Le Prell, C. G. (2017). Evidence of « hidden hearing loss » following noise exposures that produce robust TTS and ABR wave-I amplitude reductions. *Hearing Research*, 349, 155-163. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2016.12.009>

■ Mahdi, P., Pourbakht, A., Karimi Yazdi, A., Rabhani Anari, M., Pirhajati Mahabadi, V., & Kamali, M. (2022). Metabotropic glutamate receptor : A new possible therapeutic target for cochlear synaptopathy. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 25(1), 75-83. <https://doi.org/10.22038/IJBMS.2021.59970.13296>

■ Mehraei, G., Hickox, A. E., Bharadwaj, H. M., Goldberg, H., Verhulst, S., Liberman, M. C., & Shinn-Cunningham, B. G. (2016). Auditory Brainstem Response Latency in Noise as a Marker of Cochlear Synaptopathy. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 36(13), 3755-3764. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4460-15.2016>

■ evidence for hidden hearing loss and computational model. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 31(38), 13452-13457. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2156-11.2011>

■ Seist, R., Tong, M., Landegger, L. D., Vasiljic, S., Hyakusoku, H., Katsumi, S., McKenna, C. E., Edge, A. S. B., & Stankovic, K. M. (2020). Regeneration of Cochlear Synapses by Systemic Administration of a Bisphosphonate. *FroNevoux, J., Alexandru, M., Bellocq, T., Tanaka, L., Hayashi, Y., Watabe, T., Lahlou, H., Tani, K., & Edge, A. S. B. (2021). An antibody to RGMa promotes regeneration of cochlear synapses after noise exposure. Scientific Reports*, 11(1), 2937. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81294-5>

■ Parthasarathy, A., & Kujawa, S. G. (2018). Synaptopathy in the Aging Cochlea : Characterizing Early-Neural Deficits in Auditory Temporal Envelope Processing. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of*

the Society for Neuroscience, 38(32), 7108-7119. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3240-17.2018>

- Peineau, T., Belleudy, S., Pietropaolo, S., Bouleau, Y., & Dulon, D. (2021). Synaptic Release Potentiation at Aging Auditory Ribbon Synapses. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 13, 756449. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.756449>
- Plack, C. J., Léger, A., Prendergast, G., Kluk, K., Guest, H., & Munro, K. J. (2016). Toward a Diagnostic Test for Hidden Hearing Loss. *Trends in Hearing*, 20, 2331216516657466. <https://doi.org/10.1177/2331216516657466>
- Ridley, C. L., Kopun, J. G., Neely, S. T., Gorga, M. P., & Rasetshwane, D. M. (2018). Using Thresholds in Noise to Identify Hidden Hearing Loss in Humans. *Ear and Hearing*, 39(5), 829-844. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000543>
- Sargsyan, L., Hetrick, A. P., Gonzalez, J. G., Leek, M. R., Martin, G. K., & Li, H. (2021). Effects of combined gentamicin and furosemide treatment on cochlear ribbon synapses. *Neurotoxicology*, 84, 73-83. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2021.02.007>
- Schaeffe, R., & McAlpine, D. (2011). Tinnitus with a normal audiogram : Physiologicalntiers in Molecular Neuroscience, 13, 87. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2020.00087>
- Sergeyenko, Y., Lall, K., Liberman, M. C., & Kujawa, S. G. (2013). Age-related cochlear synaptopathy : An early-onset contributor to auditory functional decline. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 33(34), 13686-13694. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1783-13.2013>
- Shi, L., Chang, Y., Li, X., Aiken, S. J., Liu, L., & Wang, J. (2016). Coding Deficits in Noise-Induced Hidden Hearing Loss May Stem from Incomplete Repair of Ribbon Synapses in the Cochlea. *Frontiers in Neuroscience*, 10, 231. <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00231>
- Shi, L., Liu, L., He, T., Guo, X., Yu, Z., Yin, S., & Wang, J. (2013). Ribbon

synapse plasticity in the cochlea of Guinea pigs after noise-induced silent damage. *PLoS One*, 8(12), e81566. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081566>

- Song, Q., Shen, P., Li, X., Shi, L., Liu, L., Wang, J., Yu, Z., Stephen, K., Aiken, S., Yin, S., & Wang, J. (2016). Coding deficits in hidden hearing loss induced by noise : The nature and impacts. *Scientific Reports*, 6, 25200. <https://doi.org/10.1038/srep25200>
- Szobota, S., Mathur, P. D., Siegel, S., Black, K., Saragovi, H. U., & Foster, A. C. (2019). BDNF, NT-3 and Trk receptor agonist monoclonal antibodies promote neuron survival, neurite extension, and synapse restoration in rat cochlea ex vivo models relevant for hidden hearing loss. *PLoS One*, 14(10), e0224022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224022>
- Tremblay, K. L., Pinto, A., Fischer, M. E., Klein, B. E. K., Klein, R., Levy, S., Tweed, T. S., & Cruickshanks, K. J. (2015). Self-Reported Hearing Difficulties Among Adults With Normal Audiograms : The Beaver Dam Offspring Study. *Ear and Hearing*, 36(6), e290-299. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000195>
- Valero, M. D., Hancock, K. E., Maison, S. F., & Liberman, M. C. (2018). Effects of Cochlear Synaptopathy on Middle-Ear Muscle Reflexes in Unanesthetized Mice. *Hearing research*, 363, 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.03.012>
- Wilson, J. L., Abrams, K. S., & Henry, K. S. (2021). Effects of Kainic Acid-Induced Auditory Nerve Damage on Envelope-Following Responses in the Budgerigar (*Melopsittacus undulatus*). *Journal of the Association for Research in Otolaryngology: JARO*, 22(1), 33-49. <https://doi.org/10.1007/s10162-020-00776-x>
- Zhao, H.-B., Zhu, Y., & Liu, L.-M. (2021). Excess extracellular K<sup>+</sup> causes inner hair cell ribbon synapse degeneration. *Communications Biology*, 4(1), 24. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01532-w>

Je suis un audioprothésiste

**libre!**

J'exerce comme je l'entends

 **dyapason**

[www.dyapason.audio](http://www.dyapason.audio)

# L'IMPACT D'UNE SURDITÉ ET DU PORT DE MASQUES FACIAUX (SIMULÉS) SUR LES PERFORMANCES AU TEST COGNITIF MMSE



## Auteur

Ana DOAN

Audioprothésiste DE -  
Université de Toulouse

Maître de mémoire :  
Christian Füllgrabe

Prix du Collège National  
d'Audioprothèse 2022

Le déclin cognitif et la presbycusie sont des phénomènes liés au vieillissement. Les troubles cognitifs sont couramment évalués à l'aide d'outils de dépistage, le plus couramment utilisé étant le MMSE. Ce test est administré oralement et Jorgensen et al. (2016) a observé qu'une audibilité réduite pouvait affecter négativement les performances d'un individu au test. Dans un contexte de pandémie de covid-19, le port d'un masque facial par le clinicien est un autre facteur pouvant affecter négativement les performances au MMSE. À l'aide de simulations, notre étude vise à démontrer l'impact d'une perte auditive liée à l'âge et des effets d'atténuation des masques faciaux sur les performances cognitives pour mettre en évidence une surestimation du déclin cognitif. L'objectif est de préciser les effets simulés d'une surdité liée à l'âge et des masques faciaux sur les performances au test cognitif MMSE.

Une étude inter-sujets a été réalisée sur 260 sujets normo-entendants et aux fonctions cognitives normales. Les sujets ont été attribués aléatoirement à une des dix conditions d'écoute simulant une surdité liée à l'âge à différents âges et simulant l'atténuation de deux types de masque : le masque chirurgical et la visière.

Les résultats montrent qu'une surdité liée à l'âge (simulée) affecte négativement les performances au MMSE sur un échantillon de jeunes adultes. Le masque chirurgical n'aurait pas d'effet significatif sur les performances, contrairement à la visière. En se surajoutant à une surdité liée à l'âge avancée, la visière diminue considérablement les performances au MMSE et il en résulte une surestimation du déclin cognitif.

**Mots clés :** AUDITION, COGNITION, MASQUES FACIAUX, PERFORMANCES COGNITIVES, MMSE

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 Contexte de l'étude

#### 1.1.1 Déclin cognitif

À mesure que l'on vieillit, des changements dans la structure et la fonction du cerveau peuvent altérer le fonctionnement cognitif. L'étude sur la cohorte Whitehall II de 7000 personnes (Singh-Manoux et al., 2012) montre que la mémoire et la capacité à raisonner et à comprendre commencent déjà à décliner dès l'âge de 45 ans, et que plus on avance en âge,

plus le déclin s'accélère. Avec le vieillissement de la population (Insee, 2021), la prévalence des syndromes démentiels est en constante augmentation et soulève un enjeu de santé publique important. Si le maintien des capacités fonctionnelles et d'un mode de vie sain chez la personne âgée est une priorité médicale en gériatrie, la détection précoce des troubles cognitifs est primordiale (*Le plan contre les maladies neuro-dégénératives 2014-2019*).

Les troubles cognitifs sont couramment évalués à l'aide d'outils de dépistage. Il en existe des dizaines, mais c'est le

Mini-Mental State Examination (MMSE ; Folstein et al., 1975) qui est le plus fréquemment utilisé dans le monde, suivi du Montreal Cognitive Assessment (MoCA ; Nasreddine et al., 2005) (Raymond et al., 2021). Le MMSE est un test cognitif à réponses courtes et les personnes évaluées doivent accomplir quelques tâches simples. Les éléments évalués sont regroupés en six sous-sections : orientation, enregistrement, attention et calcul, rétention mnésique, langage et praxie de construction. Le MMSE a une plage de scores bruts de 0 à 30 et utilise généralement un seuil de scores inférieur à 24 (Folstein et al., 1975) pour suggérer une déficience cognitive probable. De nombreuses études sur la sensibilité et la spécificité du MMSE montrent cependant que les résultats du test peuvent être influencés par l'âge et le niveau de scolarité des personnes évaluées (Crum et al., 1993).

Toutefois, le déclin cognitif n'est pas la seule conséquence du vieillissement, il convient donc d'aborder un autre phénomène lié : la presbyacousie.

### 1.1.2 Presbyacousie

La perte d'audition est un autre phénomène très courant chez les personnes âgées : elle est appelée « presbyacousie ». Sa prévalence augmente fortement avec l'âge : elle est de 20,6% pour la tranche d'âge 48-59 ans, 43,8% pour les 60-69 ans, 66% pour les 70-79 ans et de 90% pour les personnes âgées de plus de 80 ans (Cruikshanks et al., 1998).

### 1.1.3 Presbyacousie et déclin cognitif

La majorité des tests d'évaluation cognitive sont basés sur des instructions orales qui impliquent que la personne testée ait une bonne intégrité de ses fonctions auditives. En effet, lors d'une évaluation cognitive, un patient malentendant dont la surdité n'a pas été prise en compte avant le test, peut se comporter comme s'il était cognitivement atteint : ses performances au test pourraient indiquer un déficit cognitif. Le test cognitif – par son format – est biaisé par le déficit auditif, cela compromet le diagnostic et induit de faux positifs (Füllgrabe, 2020; Gaeta et al., 2019). Une étude montre qu'une audibilité réduite pendant la passation du MMSE influence significativement le score à ce test et modifie ainsi le diagnostic de la démence (Jorgensen et al., 2016). Il apparaît aujourd'hui un élément qui se surajoute et qui pourrait dégrader l'audibilité des consignes : les protections faciales.

### 1.1.4 L'épidémie de covid-19

Depuis janvier 2020, la lutte mondiale contre l'épidémie de la covid-19 a fait apparaître diverses mesures sanitaires incluant le port du masque. Le masque constitue un handicap supplémentaire pour les personnes malentendantes. Celles-ci compensent leur handicap auditif par la lecture labiale et les expressions du visage pour comprendre leur interlocuteur. Le port du masque atténue et déforme également le son de la voix, déjà mal perçu par les personnes malentendantes. Une étude de Goldin et al. (2020) a montré que chaque type de masque fonctionne comme un filtre passe-bas, atténuant ainsi les fréquences aiguës (2000 – 7000 Hz) de la parole. Cette atténuation peut aller de 3 à 4 dB pour un simple masque jusqu'à 12 dB pour les masques de type N95 (Goldin et al., 2020).

## 1.2 Problématique de l'étude

Nous nous intéressons au MMSE et plus particulièrement aux conditions dans lesquelles il est réalisé : le risque est en effet de diagnostiquer des problèmes cognitifs qui sont en réalité des problèmes auditifs, aggravés par le port du masque de la personne qui administre le test.

C'est dans un contexte de pandémie mondiale et de port de masque associé qu'il apparaît intéressant de nous demander comment les masques faciaux, associés à une perte auditive liée à l'âge, impactent les performances au test cognitif MMSE.

## 1.3 Objectifs de l'étude

Nous souhaitons évaluer l'impact de deux éléments différents sur les performances au MMSE : la presbyacousie et les masques faciaux. Ces deux éléments vont être simulés et testés sur une population normo-entendant car notre objectif est d'observer si l'impact sur les performances est bien dû aux conditions de présentation du test, et non au déclin cognitif associé à une perte auditive

(Füllgrabe, 2020).

« COMMENT  
LES MASQUES FACIAUX,  
ASSOCIÉS À UNE PERTE  
AUDITIVE LIÉE À L'ÂGE,  
impactent les performances  
au test cognitif MMSE ? »

## 2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 2.1 Population cible

- Les sujets devaient être âgés entre 18 et 32 ans.
- Les seuils audiométriques devaient être inférieurs à 20 dB HL sur toutes les fréquences selon les critères du Bureau International d'Audiophonologie (BIAP) (moyenne des seuils auditifs aux fréquences 500, 1000, 2000 et 4000 en dB HL).
- Les sujets devaient être exempts de troubles cognitifs (vérifiés par le « mini-MoCA » version 5 minutes (MoCA-5min) (version française de Dujardin et al., 2021).
- Puisque les questions des tests cognitifs peuvent être apprises ou mémorisées, les sujets ne devaient pas connaître le contenu des questions.
- Le test cognitif MMSE implique la compréhension d'instructions orales, les sujets dont la langue maternelle n'était pas le français ont été écartés.

### 2.2 Matériels

#### 2.2.1 Stimuli – MMSE

Les 30 items du MMSE ont été enregistrées par un locuteur natif francophone. Sur la base de cet enregistrement, des traitements acoustiques ont été appliqués pour simuler les effets de la presbyacousie, l'effet d'un masque chirurgical et d'une visière. Étant donné que le MMSE est généralement administré en milieu clinique, nous avons souhaité reproduire le bruit de fond présent dans les environnements hospitaliers. L'étude de Busch-Vishniac et al. (2005) sur les bruits de fond de l'hôpital Johns Hopkins à Baltimore, a enregistré des niveaux sonores moyens se situant entre 50 et 60 dB(A). Ces bruits seraient dû au chauffage et à la ventilation, aux interactions orales et aux allers et venues incessants des médecins et infirmiers. Ces niveaux de pression sonore sont suffisamment élevés pour altérer l'intelligibilité de la parole.

### Simulation des effets de la presbyacousie

Quatre conditions d'écoute sont étudiées : (a) normo-entendant, (b) presbyacousie à 65 ans, (c) presbyacousie à 85 ans et (d) presbyacousie à 95 ans. Les seuils audiométriques des presbyacousies aux différents âges se basent sur les travaux de Cruickshanks et al. (Cruickshanks et al., 1998). L'algorithme qui imite les effets de la presbyacousie (Nejime & Moore, 1997) simule :

- Une augmentation des seuils d'audibilité : simulée par un abaissement de l'intensité du signal sur certaine bande de fréquence (filtrage non linéaire) ;
- Un recrutement de sonie : simulée par une exagération des variations d'intensité de l'enveloppe du signal ;
- Une perte de sélectivité fréquentielle : simulée par un lissage du spectre fréquentiel.

### Simulation des effets des masques faciaux

Deux conditions d'atténuation acoustique liés à l'effet du masque sont étudiées : (i) masque chirurgical et (ii) visière. Nous nous sommes basés sur les travaux de Munro et Stone (2020) qui ont mesuré l'atténuation acoustique pour trois types de masques faciaux dont le masque chirurgical et le masque visière (Figure 1).

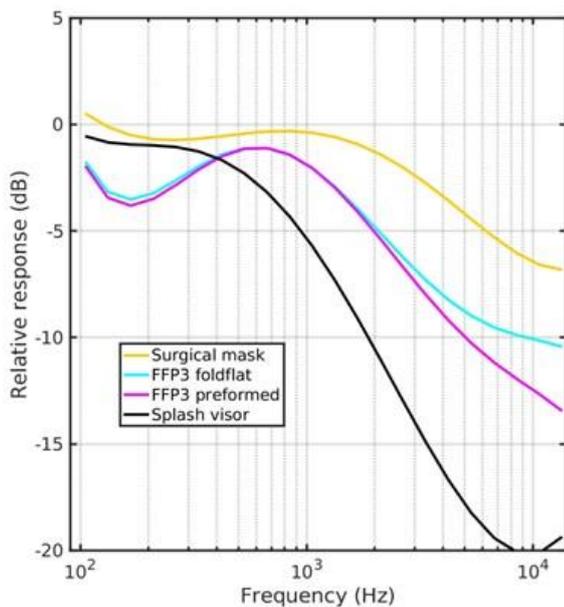


Figure 1. Graphique extrait de l'article de Munro et Stone (2020), représentant les caractéristiques d'atténuation mesurées pour quatre types de masque faciaux. Il montre que le masque chirurgical ne produit qu'une atténuation modeste dans la plupart des fréquences importantes de la parole ; la visière produit une atténuation plus importante.

### Simulation de bruit de fond

En nous basant sur l'enquête de Busch-Vishniac et al. (2005), les caractéristiques du spectre sonore est plat entre les bandes d'octaves de 63 à 1000 Hz et s'atténue sur les fréquences supérieures. Pour notre étude, nous nous sommes basés sur la forme de ce spectre pour définir l'intensité du bruit de fond ; celui-ci est de 43.5 dB(A) SPL.

### 2.3 Procédure générale

Les sujets ont été attribué de manière pseudo aléatoire parmi les dix conditions expérimentales constituant les conditions d'écoute suivantes : normo-entendant & sans masque (C1), 65 ans & sans masque (C2), 65 ans & masque chirurgical (C3), 65 ans & visière (C4), 85 ans & sans masque (C5), 85 ans & masque chirurgical (C6), 85 ans & visière (C7), 95 ans & sans masque (C8), 95 ans & masque chirurgical (C9), 95 ans & visière (C10).

Les sujets ne connaissaient pas la condition dans laquelle ils avaient été attribués. Le stimulus est présenté bilatéralement au sujet via un casque.

## 3. RÉSULTATS ET ANALYSE STATISTIQUE

- La cohorte est constituée de 260 sujets : 37% d'hommes et 63% de femmes, âgés de 18 à 32 ans (âge moyen = 21 ans).
- Une analyse des variables « âge », « PTA », « niveau de formation », « vigilance » et « MoCA-5min » des sujets montre qu'il n'y a pas de différences statistiquement significatives entre les quatre groupes, cela signifie que les différences éventuelles en termes de score au MMSE ne peuvent pas être attribué à ces variables confondantes.

### 3.1 Effet d'une perte auditive liée à l'âge (simulée) sur les performances au MMSE

Les résultats montrent une différence de performance entre les différentes conditions d'écoute, qui se visualise sur le graphique par une dégradation des scores à mesure que la perte auditive simulée est importante. La limite en rouge représente le seuil de score en dessous duquel un déficit cognitif est probable.

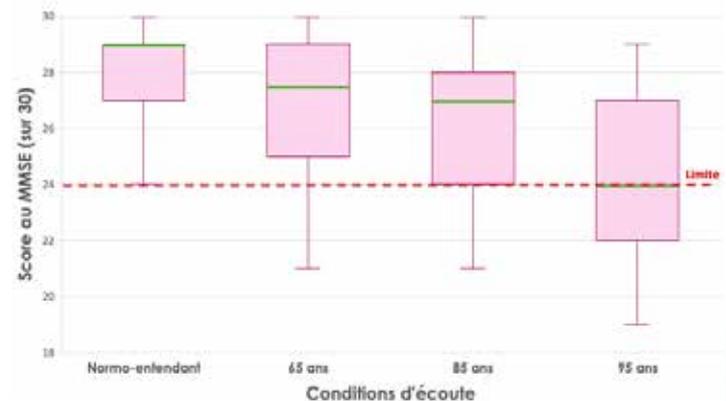


Figure 2. Différences statistiques de la dégradation des scores MMSE dans les différentes conditions d'écoute (N=104).

Le Kruskal-Wallis confirme les tendances observées et révèle des différences significatives de performance au MMSE entre les différentes conditions ( $H(3) = 23.37 ; p < .001$ ).

Les résultats obtenus permettent d'affirmer qu'une perte auditive simulée liée à l'âge a un impact sur les performances au MMSE.

### 3.2 Influence des masques faciaux sur les performances au MMSE

#### 3.2.1 Effet sur la surdité liée à l'âge (simulée) à 65 ans

On n'observe quasiment pas de différence de performance entre la condition sans masque et les conditions qui simulent le port de masque faciaux (Figure 3).

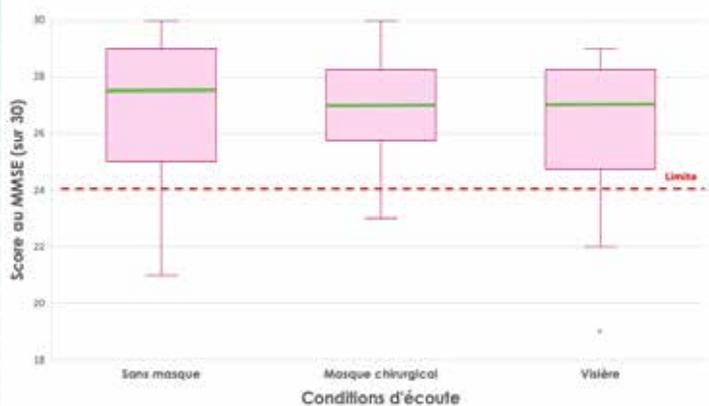


Figure 3. Différences statistiques de l'effet des masques faciaux sur la dégradation des scores MMSE dans les différentes conditions d'écoute (N=78), sur la surdité simulée de 65 ans.

L'analyse statistique Kruskal-Wallis ne relève **aucune différence significative** ( $H(2) = 0.548$  ;  $p = 0.76$ ) des masque faciaux sur les performances au MMSE sur la perte auditive liée à l'âge (simulée) à 65 ans.

### 3.2.2 Effet sur la surdité liée à l'âge (simulée) à 85 ans

Les scores au MMSE relevés nous permettent d'observer une différence de performance entre les trois conditions d'écoute (Figure 4).

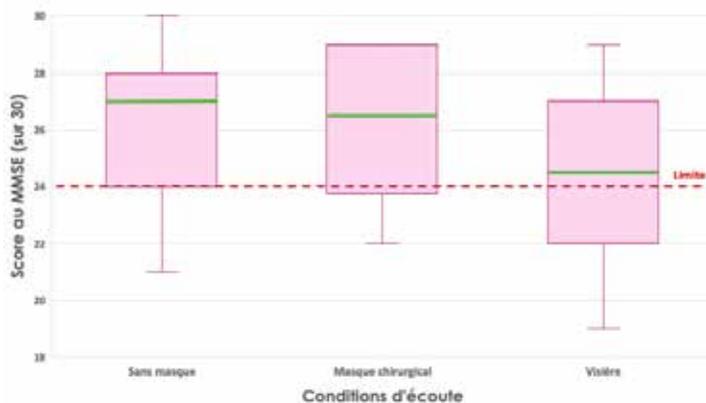


Figure 4. Différences statistiques de l'effet des masques faciaux sur la dégradation des scores MMSE dans les différentes conditions d'écoute (N=78), sur la surdité simulée de 85 ans.

L'analyse statistique a révélé une différence significative ( $H(2) = 6.483$  ;  $p = 0.039$ ). Nous pouvons ainsi affirmer qu'il y a un **effet significatif** des masques sur la perte auditive liée à l'âge (simulée) à 85 ans. Elle montre que la visière aurait un effet sur les performances au MMSE, alors que le masque chirurgical n'en aurait pas.

### 3.2.3 Effet sur la surdité liée à l'âge (simulée) à 95 ans

On observe des performances identiques entre les conditions d'écoute sans masque et masque chirurgical et une baisse de performance (moins 2 points) pour la condition d'écoute avec visière (Figure 5).

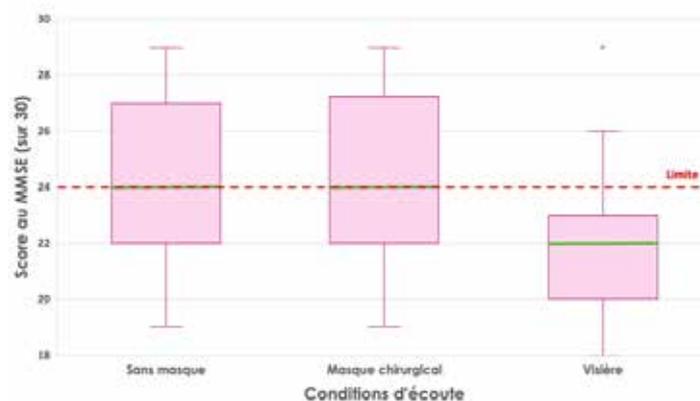


Figure 5. Différences statistiques de l'effet des masques faciaux sur la dégradation des scores MMSE dans les différentes conditions d'écoute (N=78), sur la surdité simulée de 95 ans.

L'analyse statistique révèle une différence significative ( $H(2) = 12.273$  ;  $p = 0.002$ ) ce qui nous permet de d'affirmer qu'il y a un **effet significatif** des masques sur la surdité liée à l'âge (simulée) à 95 ans. En revanche, elle révèle qu'entre les conditions sans masque et visière il y a une différence significative ( $p = 0.003$ ). Ainsi, la visière affecterait les performances au MMSE alors que le masque chirurgical n'aurait pas d'effet.

## 4. DISCUSSION

### Synthèse des résultats

A partir de notre analyse statistique, nous en venons aux conclusions suivantes :

- L'hypothèse principale semble validée : la perte auditive liée à l'âge (simulée) a un effet significatif sur les performances au MMSE ;
- L'hypothèse secondaire semble potentiellement validée :
  - Le masque chirurgical et la visière n'aurait pas d'effet significatif sur les surdités simulées à 65 ans au MMSE ;
  - Le masque chirurgical n'a pas d'effet significatif sur les surdités simulées à 85 et 95 ans au MMSE ;
  - La visière a un effet significatif sur les surdités simulées 85 et 95 ans.

La réalisation de notre étude se base sur les études antérieures de Jorgensen et al. (2016) et de Gaeta et al. (2019) qui ont étudié les effets d'une audibilité réduite sur les performances au MMSE. Dans son étude, Jorgensen et al. (2016) avait sélectionné des sujets jeunes adultes (18-39 ans) ( $n=25$  par condition) pour contrôler les effets du vieillissement sur le système auditif mais avait fait remarquer que les adultes plus âgés atteints de perte auditive pouvaient avoir une performance différente de celle des jeunes adultes en raison des effets du vieillissement. En comparant les performances au MMSE de jeunes adultes (18-35 ans) ayant perte d'audibilité simulée à ceux d'adultes âgés (60-80 ans) atteints de surdité neurosensorielle, l'étude de Gaeta et al. (2019) n'a pas montré de différence significative en termes de performance au MMSE entre les deux groupes test, démontrant ainsi l'absence d'effets du vieillissement sur cette étude. Sur la base de ces résultats, nous avons choisi de réaliser notre étude avec une cohorte composée uniquement de jeunes adultes (18-32 ans) ( $n = 26$  par condition) et en définissant une limite d'âge assez basse, dans le but d'une part de nous assurer d'une fonction auditive centrale et périphérique normale des sujets, et d'autre part de réduire les effets du déclin cognitif liés

à l'âge. Cela nous permet théoriquement d'exclure tout biais pouvant interférer avec ce que nous souhaitons observer : une erreur de mesure possible due aux conditions de présentation du test et non à des éléments déficitaires liés au sujet lui-même. Nous voulions démontrer que c'est le test lui-même qui mène à une baisse de performance cognitive et non un déclin cognitif.

Les résultats observés dans notre étude rejoignent ceux de Jorgensen et al. (2016) qui observent qu'avec l'augmentation de la perte auditive simulée, le score MMSE diminue. Nos résultats montrent en effet une baisse significative des performances entre les différentes conditions d'écoute et ce, à mesure que la sévérité de la perte auditive liée à l'âge (simulée) augmente (Figure 2). Le sujet se comporte comme s'il avait une déficience cognitive alors que ce n'est pas le cas, ce sont les conditions de test qui le défavorisent pendant la passation du test cognitif.

Contrairement aux études antérieures (Jorgensen et al., 2016 ; Gaeta et al. 2019), la simulation de la perte auditive liée à l'âge que nous présentons au sujet ne consiste pas seulement en une atténuation de l'intensité sur les fréquences. En effet, pour être plus fidèle à la réalité, nous avons utilisé un algorithme qui imite certains effets de la presbycusie en nous basant sur l'étude de Nejime & Moore (1997). Nous avons également rajouté un bruit pour simuler le bruit de fond des hôpitaux/cliniques. Enfin, notre cohorte se compose de 26 sujets dans chaque condition d'écoute.

Les résultats permettent d'observer que le port d'un masque facial type visière par l'administrateur du test peut représenter un biais supplémentaire au diagnostic cognitif. Il est intéressant d'observer la limite représentée en rouge (Figure 6) en dessous de laquelle un déficit cognitif est probable. Lorsque la visière est associée à une perte auditive (simulée) de 85 ans, il y a certes une baisse des performances au MMSE dans la condition 85 ans + visière (moins 2 points en comparaison à la condition 85 ans + masque chirurgical) mais dans le diagnostic cognitif nous restons toujours au-dessus du seuil limite. En revanche, lorsque la visière est associée à une perte auditive (simulée) de 95 ans, le score est bien en dessous de la limite et le sujet est diagnostiqué déficient cognitif.

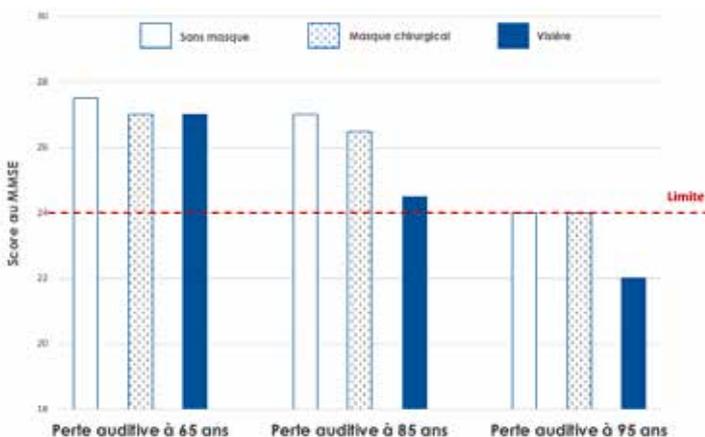


Figure 6. Graphique représentant la médiane des scores au MMSE par condition d'écoute en fonction du type de masque et de la perte auditive. On observe une baisse significative des scores MMSE à mesure que la perte auditive (simulée) augmente et une baisse significative des scores dans les conditions avec la visière.

Nous nous attendions à observer un effet significatif du masque chirurgical sur les scores mais les résultats ont montré le contraire. L'absence d'effet significatif peut être causé par :

- Le format MMSE qui contient des questions portant sur des tâches visuelles par exemple. Nous supposons ainsi que si le sujet arrive à capter des bribes de consignes, ses connaissances pourraient lui permettre de combler l'information manquante et lui permettre de répondre à l'action demandée. Il serait intéressant de remplacer ces questions par des questions qui mesurent la compréhension de la parole telles que des tâches de sélection d'image illustrant les phrases entendues ou des tâches de désignation d'images suite à des commandes verbales. Ces questions permettraient de s'assurer que l'auditeur a bien compris l'énoncé.
- Le masque chirurgical n'atténue que très légèrement les fréquences importantes de la parole (Munro & Stone, 2020) avec un maximum de 6 dB sur le 6000 Hz (Figure 1). Il est possible qu'une perte auditive légère liée à l'âge abaisse déjà les seuils auditifs de telle manière qu'un effet supplémentaire du masque chirurgical n'est pas observable et qu'il n'y aurait ainsi pas de déficit supplémentaire.

Notre étude se veut être une étude méthodologique mettant en évidence un biais potentiel associé aux conditions de test de la cognition d'un individu. Un diagnostic erroné de démence est un risque réel. En effet le MMSE dans son format, est un test qui présente ses consignes de manière orale (et donc auditive) et qui peut être biaisé par des aspects auditifs et acoustiques de la situation. En présentant le MMSE dans une condition défavorable d'écoute (simulation d'une perte auditive ou du port d'un masque facial par l'administrateur du test), les performances au test semblent indiquer un déficit cognitif qui en réalité n'existe pas.

Les résultats de notre étude nous poussent ainsi à rappeler qu'il est important d'administrer le test dans un endroit calme et sans bruit, d'évaluer systématiquement les capacités auditives et visuelles d'un patient et selon le type de protection faciale que l'administrateur porte, cela peut avoir un impact délétère sur une personne atteinte d'une surdité sévère.

Nous suggérons d'essayer d'autres alternatives de format de test pour les patients atteints de surdité sévère, comme un format écrit par exemple. A ce jour il n'existe pas de version reconnue du MMSE écrit, mais une étude à ce sujet a montré qu'une version écrite était tout aussi performante que la version standard car les scores étaient similaires entre les deux (De Silva et al., 2008). Une version alternative du MoCA adaptée aux malentendants est le MoCA-Hearing Impaired (MoCA-HI), entièrement administré visuellement.

Pris dans son ensemble, les résultats de notre étude indiquent qu'il faut être vigilant quant à l'interprétation des résultats bruts du test MMSE. Les performances à ce test peuvent être impactées par une perte auditive et par l'atténuation acoustique engendrée par le port de masques faciaux. Sans ces précautions, le déclin cognitif peut être surestimé.

Enfin, pour la pratique de l'audioprothèse, comprendre ces impacts néfastes sur les performances cognitives du malentendant pourrait s'avérer utile pour la prise en charge des patients. En effet, l'étude de Rembaud et al. (2017) montre que 90,9 % des audioprothésistes en France (298 sondés) pensent que la cognition joue un rôle important dans la perception et le traitement de la parole mais l'évaluation du fonctionnement cognitif de leurs patients ne fait pas partie de leur pratique. Pourtant la cognition n'est pas un facteur à ignorer si celle-ci peut participer à prédire le succès ou non d'une réhabilitation audioprothétique.

C'est en ce sens que notre étude espère apporter un bénéfice indirect aux patients appareillés : en contribuant à un diagnostic cognitif juste. L'audioprothésiste pourra prédire la performance et/ou le bénéfice d'une prothèse auditive d'un patient, en se basant sur des données fiables. Aux États-Unis, la cognition en audiologie est au cœur des débats et l'étude de Shen et al. (2016) met l'accent sur l'importance du rôle de l'audiologiste dans le parcours soin de la personne âgée. L'audioprothèse est un domaine qui est en contact constant avec cette population et l'audioprothésiste est susceptible de rencontrer des cas de malentendants ayant

des troubles cognitifs non diagnostiqués. En étant informé et formé à diagnostiquer un déficit cognitif sans biais potentiel, l'audioprothésiste pourra d'une part, orienter son patient vers une équipe de professionnels adaptée, et d'autre part il pourra se rendre compte des capacités cognitives de son patient pour mieux appréhender l'interprétation des mesures obtenues liées aux contrôles d'efficacité prothétique dans sa pratique.

#### 4.1 Les limites et biais de l'étude

Les sujets de cette étude ont été recrutés au sein de diverses promotions étudiantes. Ils n'avaient jamais passé le test cognitif MMSE et ne devaient pas connaître en avance les questions du test. Il reste néanmoins imaginable que les sujets communiquent entre eux malgré nos conseils. Nous considérons arbitrairement que le sujet ait joué le jeu.

Nous avons parfois observé une grande variabilité de performance au sein d'une même condition d'écoute et sur des questions similaires. Il serait intéressant d'augmenter la taille de l'échantillon pour confirmer et approfondir nos conclusions.

Notre étude est réalisée sur des sujets normo-entendants sur lesquels nous simulons les effets principaux d'une perte auditive liée à l'âge, les effets des masques faciaux. Les résultats obtenus permettent de mettre en évidence une tendance mais ne sont en aucun cas à interpréter de manière brute.

Il est possible que les scores obtenus aient été la conséquence d'un effet de performance du sujet en situation de test. Nous avons remarqué que les sujets se concentraient et avaient envie de réussir.

## 5. CONCLUSIONS

Au travers de nos travaux, nous avons pu répondre à notre problématique. Grâce à notre cohorte composée de jeunes adultes normo-entendants et sans déficit cognitif, nous avons pu étudier les effets d'une perte auditive (simulée) liée à l'âge sur les performances au MMSE en nous affranchissant des effets de l'âge et du déclin cognitif associé. Les résultats confirment les conclusions des travaux de Jorgensen et al. (2016) chez le même profil de sujet avec une perte d'audition simulée.

Par ailleurs, un biais supplémentaire peut venir se surajouter à une perte auditive : le port de masque chirurgical ou de visière par l'administrateur du test. Nos résultats n'ont pas montré d'effet significatif du masque chirurgical sur les performances au MMSE. En revanche la visière impacte significativement les performances au test, et ce à mesure que la perte auditive est sévère.

L'intérêt de cette étude à visée méthodologique n'est pas de remettre en question la sensibilité du MMSE, mais simplement d'informer les professionnels de santé concernés par le dépistage cognitif et utilisant le MMSE, que les conditions de test peuvent défavoriser le patient et que le diagnostic utilisé peut perdre en fiabilité.

## BIBLIOGRAPHIE

- Algava, É., & Blanpain, N. (2021, novembre 29). 68,1 millions d'habitants en 2070 : Une population un peu plus nombreuse qu'en 2021, mais plus âgée. *Insee Première*, n°1881. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5893969>
- Busch-Vishniac, I. J., West, J. E., Barnhill, C., Hunter, T., Orellana, D., & Chivukula, R. (2005). Noise levels in Johns Hopkins Hospital. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 118(6), 3629-3645. <https://doi.org/10.1121/1.2118327>
- Cruickshanks, K. J., Wiley, T. L., Tweed, T. S., Klein, B. E. K., Klein, R., Mares-Perlman, J. A., & Nondahl, D. M. (1998). Prevalence of hearing loss in older adults in Beaver Dam, Wisconsin : The epidemiology of hearing loss study. *American Journal of Epidemiology*, 148(9), 879-886. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a009713>
- Crum, R. M., Anthony, J. C., Bassett, S. S., & Folstein, M. F. (1993). Population-based norms for the Mini-Mental State Examination by age and educational level. *JAMA*, 269(18), 2386-2391.
- De Silva, M. L., McLaughlin, M. T., Rodrigues, E. J., Broadbent, J. C., Gray, A. R., & Hammond-Tooke, G. D. (2008). A Mini-Mental Status Examination for the hearing impaired. *Age and Ageing*, 37(5), 593-595. <https://doi.org/10.1093/ageing/afn146>
- Dujardin, K., Duhem, S., Guerouaou, N., Djelad, S., Drumez, E., Duhamel, A., Bombois, S., Nasreddine, Z., Bordet, R., & Deplanque, D. (2021). Validation in French of the Montreal Cognitive Assessment 5-Minute, a brief cognitive screening test for phone administration. *Revue Neurologique*, 177(8), 972-979. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2020.09.002>
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state" : A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189-198. [https://doi.org/10.1016/0022-3956\(75\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0022-3956(75)90026-6)
- Füllgrabe, C. (2020). On the possible overestimation of cognitive decline : The impact of age-related hearing loss on cognitive-test performance. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 454. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00454>
- Gaeta, L., Azzarello, J., Baldwin, J., Ciro, C. A., Hudson, M. A., Johnson, C. E., & John, A. B. (2019). Effect of reduced audibility on Mini-Mental State Examination scores. *Journal of the American Academy of Audiology*, 30(10), 845-855. <https://doi.org/10.3766/jaaa.17139>
- Goldin, A., Weinstein, B., & Shiman, N. (2020). How do medical masks degrade speech reception ? *The Hearing Review*. <https://hearingreview.com/hearing-loss/health-wellness/how-do-medical-masks-degrade-speech-reception>
- Jorgensen, L. E., Palmer, C. V., Pratt, S., Erickson, K. I., & Moncrieff, D. (2016). The effect of decreased audibility on MMSE performance : A measure commonly used for diagnosing dementia. *Journal of the American Academy of Audiology*, 27(04), 311-323. <https://doi.org/10.3766/jaaa.15006>
- Munro, K., & Stone, M. (2020). The challenges of facemasks for people with hearing loss. *ENT & Audiology News*. <https://www.entandaudiologynews.com/features/audiology-features/post/the-challenges-of-facemasks-for-people-with-hearing-loss>
- Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J. L., & Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA : A brief screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(4), 695-699. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x>
- Nejime, Y., & Moore, B. C. J. (1997). Simulation of the effect of threshold elevation and loudness recruitment combined with reduced frequency selectivity on the intelligibility of speech in noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 102(1), 603-615. <https://doi.org/10.1121/1.419733>
- Raymond, M., Barrett, D., Lee, D. J., Peterson, S., Raol, N., & Vivas, E. X. (2021). Cognitive screening of adults with postlingual hearing loss : A systematic review. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 164(1), 49-56. <https://doi.org/10.1177/0194599820933255>
- Rembaud, F., Fontan, L., & Füllgrabe, C. (2017). L'audiométrie vocale en France : État des lieux. *Les cahiers de l'audition*, 6, 22-25.
- Shen, J., Anderson, M. C., Arehart, K. H., & Souza, P. E. (2016). Using cognitive screening tests in audiology. *American Journal of Audiology*, 25(4), 319-331. [https://doi.org/10.1044/2016\\_AJA-16-0032](https://doi.org/10.1044/2016_AJA-16-0032)
- Singh-Manoux, A., Kivimaki, M., Glymour, M. M., Elbaz, A., Berr, C., Ebmeier, K. P., Ferrie, J. E., & Dugravot, A. (2012). Timing of onset of cognitive decline : Results from Whitehall II prospective cohort study. *BMJ*, 344(jan04 4), d7622-d7622. <https://doi.org/10.1136/bmj.d7622>

# RÉSISTIVITÉ DE L'INTELLIGIBILITÉ EN FONCTION DE LA VITESSE D'ÉLOCUTION ET INFLUENCE DES CONSTANTES DE TEMPS DE LA COMPRESSION



## Auteur

Dorothée JOUAN

Université Claude Bernard  
Lyon 1

Sous la direction de  
Monsieur Xavier Thevenin,  
audioprothésiste D.E -  
Audition conseil Annemasse

Une des gênes principales ressenties par le malentendant est la compréhension lorsque l'interlocuteur parle rapidement, au même titre que la compréhension en milieu bruyant. On se propose ici d'étudier différents facteurs qui peuvent impacter la compréhension en cas de vitesse d'élocution élevée, avec appareils et sans appareils, notamment par exemple l'impact des constantes de temps de la compression.

Le test de résistivité de l'intelligibilité en fonction de la vitesse d'élocution étant un test qui nous permet d'évaluer les gênes du patient dans ces situations, nous l'avons utilisé pour étudier l'influence de différents paramètres sur les scores obtenus à différentes vitesses d'élocution, ainsi que sur le SRT calculé. Nous avons ainsi, dans un premier temps, évalué différents paramètres tels que l'âge, la perte tonale moyenne et les facultés cognitives. Puis nous avons évalué l'intérêt de l'appareillage en comparant les scores oreilles nues et oreilles appareillées. Enfin, nous nous sommes intéressés à l'impact que pourrait avoir les constantes de temps de la compression sur la compréhension d'une parole rapide.

Nos résultats ont montré un lien significatif entre la compréhension d'une parole rapide et la perte tonale et les capacités cognitives. Ils ont également montré une amélioration significative des scores avec l'appareillage. Par contre, nous n'avons pas obtenu de différences significatives entre les différents réglages ; il semblerait donc que les constantes de temps de la compression n'aient pas d'effet sur la compréhension d'une parole rapide.

## INTRODUCTION

Le malentendant rencontre beaucoup de difficultés dans sa vie quotidienne, difficultés que l'appareillage n'arrive pas toujours à pleinement combler. Deux principales plaintes reviennent particulièrement souvent, elles concernent à chaque fois la compréhension de la parole : compréhension de la parole dans le bruit, et compréhension de la parole dans le cas d'une vitesse d'élocution élevée.

Il est vrai que la compréhension de la parole fait intervenir plusieurs paramètres, et si, chez le normo-entendant, il s'agit d'une faculté cognitive très robuste, qui résiste aux variabilités intrinsèques du signal (parole modulée par du bruit ou parole accélérée), il n'en est pas de même chez le malentendant.

Les aides auditives sont là pour aider le malentendant dans les situations difficiles, même si elles ne combleront pas totalement la déficience auditive, en particulier l'affaiblissement des capacités psychoacoustiques inhérent à la perte auditive.

La compression est un des paramètres sur lequel l'audioprothésiste peut intervenir pour améliorer la compréhension. Cependant, on sait qu'elle peut modifier les indices acoustiques du signal de parole. De nombreuses études ont été menées pour voir l'influence des constantes de temps de la compression sur le signal de parole, dans le bruit, mais également dans le silence.

Ce mémoire est parti de l'interrogation de ce qu'il se passe dans le cas d'un signal de parole rapide. On sait que l'audibilité et les

capacités cognitives sont des facteurs intervenants, mais qu'en est-il des constantes de temps de la compression ? En d'autres termes, la problématique est la suivante : les constantes de temps (et plus particulièrement le temps de retour  $T_r$ ) ont-elles une influence pour la compréhension dans le cas d'une vitesse d'élocution élevée ? Ainsi, nous verrons par exemple si certains types de compression sont néfastes à la compréhension dans le cas d'une vitesse d'élocution élevée.

## MATÉRIEL ET MÉTHODE

### I. Population étudiée

Deux populations distinctes ont participé à cette étude :

- **Une population témoin normo-entendante :**

10 sujets ont été testés. Il s'agit de 6 femmes, 4 hommes, d'un âge moyen de 37,8 ans, écart type de 14,6 (min 14 ans et max 58 ans). Pour être considérés normo-entendants, les sujets devaient présenter un seuil moyen inférieur à 20 dB HL à l'audiométrie tonale, le seuil moyen étant calculé selon la norme BIAP.

- **Une population malentendante :**

Afin d'être inclus dans l'étude, les sujets devaient répondre aux critères suivants :

- Être appareillés depuis plus de 6 mois afin que la phase d'adaptation soit passée et que le patient soit habitué à ses appareils
- Avec des appareils permettant l'avoir accès aux constantes de temps de la compression
- Ne pas présenter de recrutement important
- Ne pas présenter de troubles mnésiques

Ainsi, 29 sujets ont participé à l'étude, 16 femmes, 13 hommes, d'un âge moyen de 73,5 ans, écart type de 3,9 (min 53 ans et max 85 ans). Nous avons exclu un sujet, qui présentait des troubles de la compréhension importants.

### II. Matériel utilisé

#### 1. Test CODEX

D'après BELMIN et al. (2006), le Codex est un test simple, bref, rapide (moins de 3 minutes) et fiable permettant de détecter une démence de façon précoce. Nous l'avons utilisé ici pour avoir un score correspondant aux facultés cognitives de la personne testée. Des scores A et B indiquent un test normal, alors que des scores C et D indiquent un test anormal.

#### 2. Matériel phonétique et matériel de test

Deux matériels phonétiques distincts ont été utilisés :

- 40 listes de 10 mots dissyllabiques de Fournier
- 9 listes de 10 phrases de Combescure :

Elles sont utilisées pour le test de résistivité de l'intelligibilité en fonction de la vitesse d'élocution. Nous avons choisi d'utiliser ces listes car des listes de phrases permettent d'avoir un test plus écologique. Il est vrai que les listes de mots ou de logatomes sont plus couramment utilisées en laboratoire, les listes de phrases faisant plus facilement appel à la suppléance mentale. Mais celle-ci est importante dans la vie courante, que ce soit pour des normo-entendants ou des malentendants, et dans cette étude, nous souhaitons nous rapprocher au plus possible des conditions de conversation quotidienne.

Ces listes sont accompagnées d'un bruit type Cocktail Party, que nous avons enlevé grâce au logiciel Audacity. Ce logiciel nous a permis également de remettre toutes les phrases avec le même débit syllabique (4 syllabes/sec), puis de les accélérer,

tout en gardant la hauteur tonale (on préserve ainsi la tonalité et le voisement), et ceci grâce à la fonction Tempo du logiciel.

Quatre vitesses sont ainsi obtenues : vitesse  $x1$ , vitesse  $x\sqrt{2}$ , vitesse  $x2$ , vitesse  $2x/2$ .

L'exemple ci-dessous (figure 1) représente la phrase : « il se garantira du froid avec ce beau capuchon », avec sur la piste du haut la vitesse 1, la piste en dessous la vitesse  $x\sqrt{2}$  (diminution de la durée de la phrase d'un facteur 1,41), et la piste du bas la vitesse  $x2$ .



Figure 1. Représentation de la phrase « il se garantira du froid avec ce beau capuchon » à 3 vitesses différentes sur le logiciel Audacity

Les listes de phrases ainsi accélérées sont enregistrées sur l'ordinateur et passées en champ libre.

### III. Déroulement des tests

#### 1. Anamnèse, otoscopie, test Codex, audiométrie tonale et vocale

La première partie des tests est commune à la population normo-entendante et malentendante. Nous effectuons tout d'abord l'anamnèse et l'otoscopie, puis le test Codex, où aucun résultat C ou D n'a été relevé. Ci-dessous (figures 2 et 3) sont représentées les répartitions des résultats au test pour la population normo-entendante et malentendante.



Figure 2. Score au test CODEX des 10 sujets la population normo-entendante. Les scores A et B indiquent un test normal et les scores C et D un test anormal.

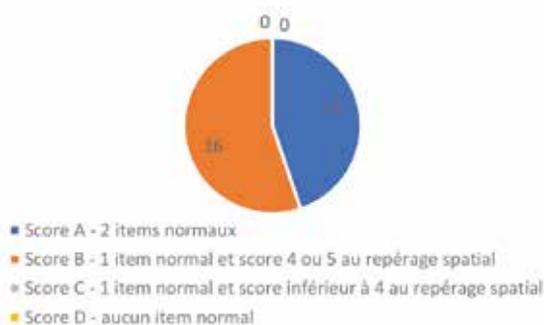


Figure 3. Score au test CODEX des 29 sujets la population normo-entendante. Les scores A et B indiquent un test normal et les scores C et D un test anormal

Il s'ensuit une audiométrie tonale et vocale au casque, dont les résultats sont présentés dans les figures suivantes. L'audiométrie vocale au casque a pour but de vérifier la compréhension du sujet, et notamment qu'il n'y ait pas de recrutement important chez le malentendant.

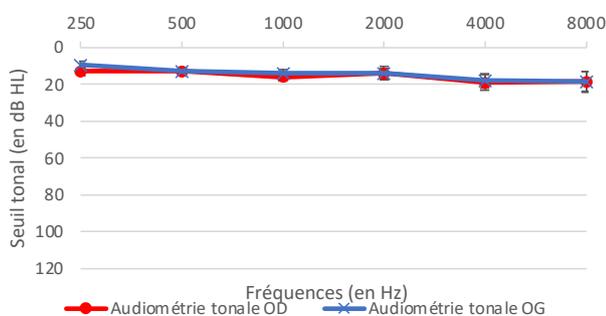


Figure 4. Audiométrie tonale moyenne et déviation standard des 10 sujets de la population normo-entendante.

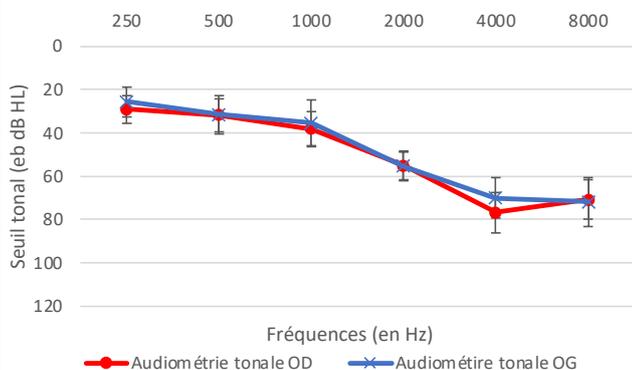


Figure 5. Audiométrie tonale moyenne et déviation standard des 29 sujets de la population malentendante.

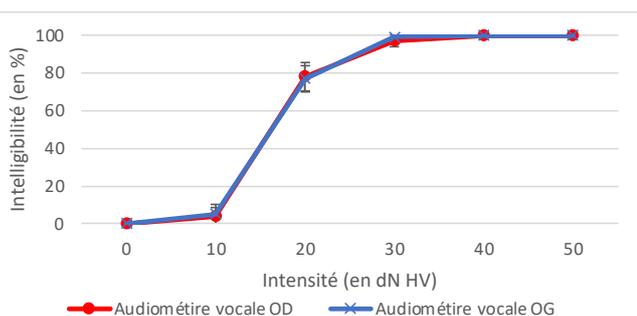


Figure 6. Audiométrie vocale moyenne et déviation standard des 10 sujets de la population normo-entendante.

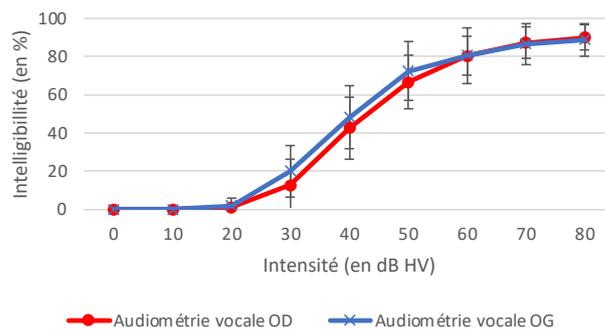


Figure 7. Audiométrie vocale moyenne et déviation standard des 29 sujets de la population malentendante.

Enfin, on effectue lors du premier rendez-vous le test de résistivité de l'intelligibilité en fonction de la vitesse d'élocution en champ libre, oreilles nues. Chez le malentendant, un deuxième rendez-vous nous permet de refaire ce dernier test, mais oreilles appareillées, et avec différents réglages.

## 2. Test de résistivité de l'intelligibilité en fonction de la vitesse d'élocution

### • Oreilles nues

Ce test est réalisé en champ libre. Le sujet doit répéter les phrases qu'il entend. L'unité de comptage est la phrase qui doit être entièrement juste pour être validée.

A la vitesse 1, les phrases sont passées à 65 dB SPL.

A chaque augmentation de vitesse est associée une augmentation du niveau sonore afin de compenser la perte d'énergie moyenne.

En effet, en sachant que  $l = 20 \log(1/\text{Vitesse})$ , si la vitesse est augmentée d'un facteur  $\sqrt{2}$ , on a  $l = 20 \log(1/\sqrt{2}) = -3 \text{ dB}$ , et ainsi  $l$  diminue de 3 dB.

On devra donc passer les listes vitesse  $\times\sqrt{2}$  à un niveau sonore de 68 dB et les listes vitesse  $\times 2$  à un niveau sonore de 72 dB.

### • Oreilles appareillées

Nous revoyons les patients malentendants pour effectuer les différents tests avec les trois réglages différents (compression adaptative, syllabique et duale). L'ordre des réglages est randomisé. Après chaque réglage, nous effectuons un test prothétique tonal en champ libre afin de s'assurer que le gain prothétique est le même. Les résultats sont présentés dans la figure suivante.

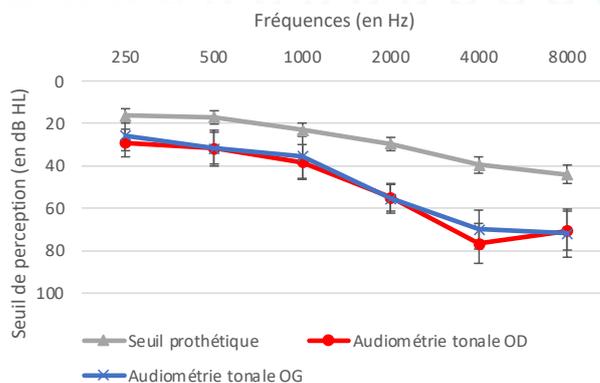


Figure 8. Moyenne et déviation standard des seuils à l'audiométrie tonale au casque et du seuil prothétique en champ libre des 29 sujets de la population malentendante.

Puis nous effectuons à nouveau un test de résistivité de l'intelligibilité en fonction de la vitesse d'élocution. Nous commençons à chaque fois par la vitesse la plus lente, puis l'augmentons. La compression adaptative est une compression dans laquelle les constantes de temps s'adaptent en fonction des variations d'intensité à l'entrée de l'appareil. Elles pourront être assez lentes afin que la parole soit restituée non comprimée avec une enveloppe proche de l'enveloppe temporelle, mais pourront aussi être plus rapides lors de montées d'intensité plus brutales en entrée. La compression syllabique a un temps de retour rapide, de 90 ms.

La compression duale a une activation de la compression lente ( $T_a$  de 900 ms et  $T_r$  de 1500 ms) lorsque le signal à l'entrée fluctue peu et des constantes de temps rapides ( $T_a$  de 5ms et  $T_r$  de 90ms) dans le cas d'un son brusque, afin de protéger des sons forts. Il est à noter qu'avec la compression duale, la dynamique de la parole est d'environ 10 dB supérieure à la compression syllabique. Cependant le gain prothétique a été vérifié après chaque changement de réglages, et s'est trouvé être équivalent. Aussi, il a été choisi de ne pas compenser ce gain supplémentaire.

## RÉSULTATS

### I. Comparaison normo-entendant – malentendant

Ci-après sont représentées l'intelligibilité en fonction de la vitesse d'élocution pour la population normo-entendante et malentendante.

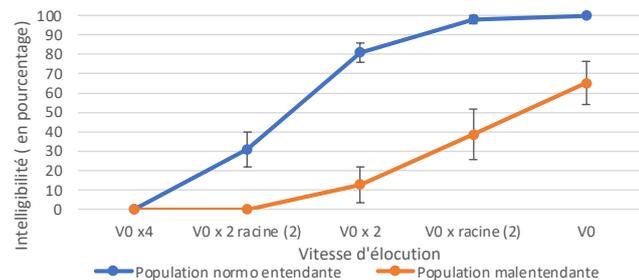


Figure 9. Moyenne et déviation standard de l'intelligibilité en fonction de la vitesse d'élocution des 10 sujets de la population normo-entendante et des 29 sujets de la population malentendante

La normalité du groupe normo-entendant n'étant pas vérifiée, nous réalisons un test de Mann-Whitney afin de comparer les résultats. L'intelligibilité du groupe normo-entendant est supérieur au groupe malentendant pour toutes les vitesses. Les p values obtenues (tableau ci-dessous) indiquent qu'il y a une différence significative entre les médianes de l'intelligibilité des deux groupes pour les vitesses  $V0*\sqrt{2}$ ,  $V0*2$  et  $V0*2\sqrt{2}$  (le calcul n'a pas pu être fait pour la vitesse  $V0$  puisque tous les normo-entendants ont obtenus un score de 100%, et la variance est nulle).

Independent Samples T-Test				
	W	p	Médiane de l'intelligibilité groupe normo-entendant	Médiane de l'intelligibilité groupe malentendant
Vitesse $V0*\sqrt{2}$	6.000	<.001	100%	30%
Vitesse $V0*2$	0.000	<.001	80%	0%
Vitesse $V0*2\sqrt{2}$	20.000	<.001	30%	0%

Tableau 1. Résultats du test de Mann-Whitney pour la comparaison des scores d'intelligibilité entre la population normo-entendante et la population malentendante, ainsi que les médianes d'intelligibilité des deux groupes aux vitesses  $V0*\sqrt{2}$ ,  $V0*2$  et  $V0*2\sqrt{2}$ .

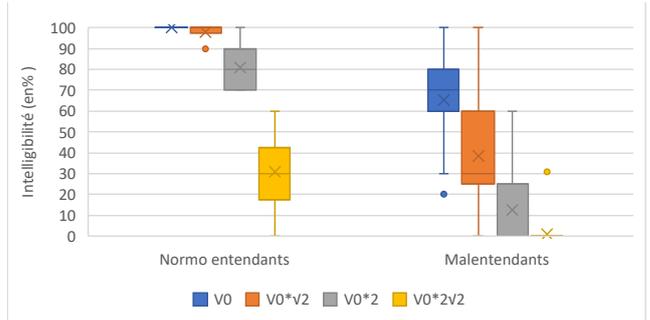


Figure 10. Illustration du test Mann-Whitney avec des boîtes à moustaches représentant la médiane, les quartiles à 25% et 75%, le min et le max des scores d'intelligibilité, à différentes vitesses d'élocution, patients normo-entendants (10 sujets) et malentendants (29 sujets).

### II. Comparaison malentendant oreilles nues – oreilles appareillées

Les conditions de normalités ne sont là encore pas respectées, on réalise donc un test des rangs signés de Wilcoxon afin de comparer les scores obtenus pour les patients malentendants oreilles nues et appareillées (nous avons pris les résultats ici avec le réglage adaptatif puisque c'est le réglage mis par défaut à chaque patient avant la réalisation des tests).

Les patients ont un meilleur résultat oreilles appareillées que oreilles nues (figure 11). Les médianes de l'intelligibilité passent avec l'appareillage de 70% à 90% (vitesse  $V0$ ), de 30% à 80% ( $V0*\sqrt{2}$ ) et de 20% à 0% (vitesse  $V0*2$ ). Les résultats au test des rangs signés de Wilcoxon montrent que ces différences sont significatives.

Paired Samples T-Test				
Measure 1	Measure 2	W	df	p
Oreilles appareillées à $V0 \times \text{raci}(2)$	Oreilles nues à $V0 \times \text{raci}(2)$	432.500		<.001
Oreilles appareillées à $V0 \times 2$	Oreilles nues à $V0 \times 2$	205.500		0.002
Oreilles appareillées à $V0$	Oreilles nues à $V0$	340.500		<.001

Note: Wilcoxon signed-rank test.

Tableau 2. Résultats du test des rangs signés de Wilcoxon pour la comparaison des scores d'intelligibilité pour les 29 patients, oreilles nues et appareillés aux vitesses  $V0$ ,  $V0*\sqrt{2}$  et  $V0*2$ .

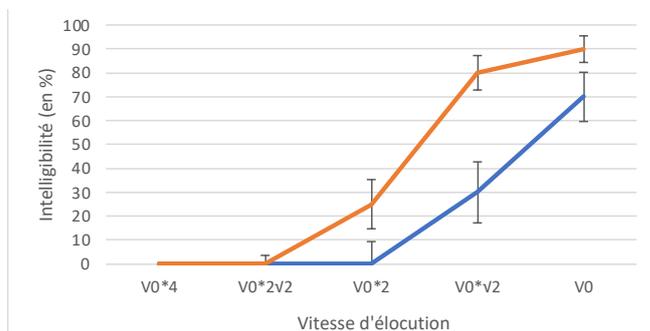


Figure 11. Médiane et déviation standard de l'intelligibilité pour les 29 patients malentendants oreilles nues et oreilles appareillées.

### III. Comparaison des différents réglages

Les conditions d'applications n'étant pas vérifiées, on utilise encore un test non paramétrique, et il s'agit ici du test de Friedman, qui va nous permettre de comparer les médianes des scores obtenus pour les trois réglages, aux différentes vitesses d'élocution. Le tableau ci-dessous nous donnent les

p-value pour les 4 vitesses d'élocution et l'analyse faite montre que l'effet du réglage sur l'intelligibilité n'est pas significatif.

Facteurs	Chi2(2)	df	p
Vitesse V0	0.333	2	0.846
Vitesse V0*√2	8.667	2	0.013
Vitesse V0*2	2.154	2	0.341
Vitesse V0*2√2	3.692	2	0.158

Tableau 3. Résultats du test de Friedman pour la comparaison des scores d'intelligibilité avec les trois réglages différents aux vitesses V0, V0\*√2, V0\*2 et V0\*2√2. (29 sujets appareillés).

Les résultats obtenus sont représentés sur la figure suivante.

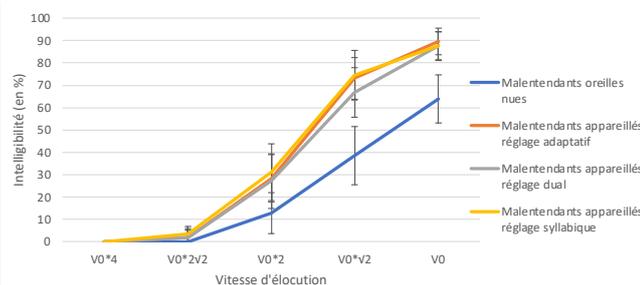


Figure 12. Moyenne et déviation standard de l'intelligibilité en fonction de la vitesse d'élocution des 29 sujets de la population malentendante oreilles nues et oreilles appareillées.

#### IV. Calcul du SRT et influences de différents paramètres

Nous avons cherché le SRT, c'est-à-dire la valeur de la vitesse d'élocution pour laquelle le 50% d'intelligibilité est obtenu. Pour ce faire, j'ai utilisé un tableau Excel issu du site <https://www.sciencegateway.org/protocols/cellbio/drug/hcic50.htm>. Il est à noter que le 100% d'intelligibilité n'étant pas toujours obtenu, nous avons appliqué une pondération pour le calcul du SRT, qui dépend des valeurs maximales et minimales. Ainsi par exemple, le patient M9 obtenait, oreilles nues, un maximum d'intelligibilité de 70%, et un minimum de 0%. La valeur pondérée pour ce patient, qui sera utilisée pour déterminer le SRT est de 71 et non 50. Cette valeur pondérée ne peut être calculée que si la compréhension maximale est au minimum de 50%. Aussi, nous n'avons pas pu calculer le SRT oreilles nues pour 4 patients.

Le SRT est un bon indicateur de la compréhension des patients en fonction de la vitesse d'élocution ; un SRT haut indique une bonne compréhension lorsque la vitesse d'élocution est rapide. Nous allons étudier ici l'influence de l'âge et de la perte auditive sur le SRT ainsi obtenu.

#### 1. Comparaison population normo entendante et malentendante

Nous comparons les SRT des populations normo entendante et malentendante en réalisant un test de Mann Whitney puisque la normalité n'est pas vérifiée. Confirmant les résultats vus précédemment, le SRT est meilleur pour la population normo entendante que malentendante puisque la médiane du SRT passe de 1,150\*V0 à 2,543\*V0 (w = 1.000 ; p < 0.001).

#### 2. Influence de l'âge et de la perte auditive

Nous effectuons cette étude sur la population malentendante. Les conditions de normalité sur les résidus sont respectées et nous pouvons réaliser un test paramétrique, la corrélation de Spearson. L'analyse faite montre que la relation entre le SRT et l'âge n'est pas significative (r = - 0.408 ; p = 0,168). Par contre, la relation entre le SRT et la perte tonale est significative (r = -0,408 ; p = 0,043).

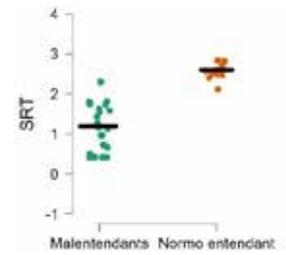


Figure 13. Illustration du test de Mann-Whitney avec des nuages de points et la médiane du SRT en fonction de la population (10 sujets normo entendants et 25 malentendants).

Pearson's Correlations

Variable		SRT	Perte Tonale	Age
1. SRT	Pearson's r	—		
	p-value	—		
2. Perte Tonale	Pearson's r	-0.408	—	
	p-value	0.043	—	
3. Age	Pearson's r	-0.285	0.005	—
	p-value	0.168	0.981	—

Tableau 4. Résultats du test de corrélation de Pearson étudiant la relation entre le SRT et l'âge et la perte tonale moyenne, population mal entendante (25 sujets).

Nous réalisons également un test de régression linéaire et obtenons de même des résultats non significatifs pour l'âge (t = -1,424 ; p = 0,168 ; R<sup>2</sup> = 0,081), alors que la perte tonale moyenne apparaît comme un prédicteur significatif (t = -2,143 ; p = 0,043 ; R<sup>2</sup> = 0,166). Les nuages de points ci-dessous représentent le SRT en fonction de ces deux facteurs.

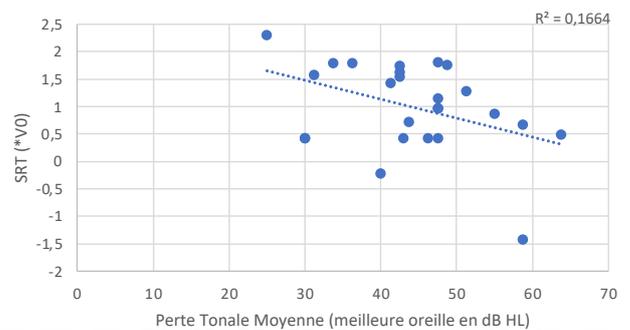


Figure 14. SRT en fonction de la perte tonale moyenne et droite de régression linéaire (R<sup>2</sup>=0,1664) des 25 sujets.

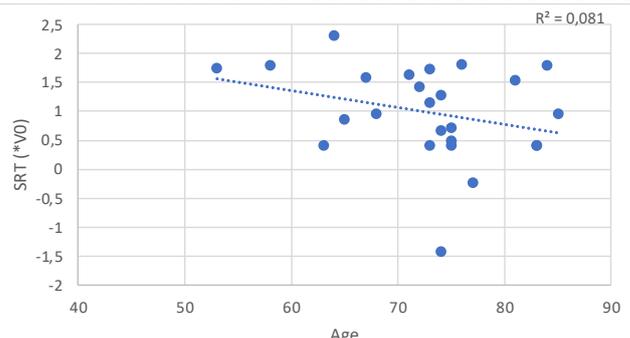


Figure 15. SRT en fonction de la perte tonale moyenne et droite de régression linéaire (R<sup>2</sup>=0,081) des 25 sujets.

3. Lien entre le SRT et le test CODEX

Pour évaluer l'aspect cognitif sur la compréhension dans le cas d'une vitesse d'élocution élevée, nous souhaitons étudier le lien entre le SRT et le résultat au test CODEX. Pour cela, nous comparons les SRT obtenus dans les groupes définis par leur score au CODEX (n=25). Les conditions de normalité n'étant pas vérifiées, nous réalisons un test non paramétrique de Mann-Whitney. Nous obtenons une différence significative (w = 122,5 ; p = 0,013), et la médiane passe de 1,584\*V0 pour le groupe A à 0,693 pour le groupe B.

Independent Samples T-Test ▼			
	W	df	p
SRT	122.500		0.013

Note. Mann-Whitney U test.

Tableau 5. Résultats du test de Mann-Whitney comparant le SRT des populations malentendantes ayant un score CODEX A et B.

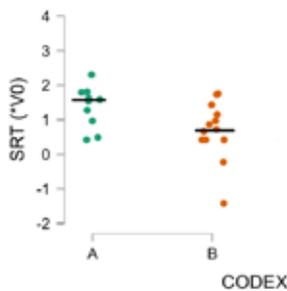


Figure 16. Illustration du test de Mann-Whitney avec des nuages de points et la médiane du SRT en fonction du résultat au test CODEX, population malentendante (25 sujets).

4. Impact de l'appareillage

Nous cherchons ici l'impact de l'appareillage sur le SRT. Pour cela, la condition de normalité n'étant pas respectée, on réalise un test des rangs signés de Wilcoxon.

Nous retrouvons un résultat cohérent avec la comparaison des médianes de l'intelligibilité avant et après appareillage à différentes vitesses, à savoir que la médiane du SRT passe de 1,150\*V0 chez les sujets oreilles nues, à 1.958\*V0 lorsqu'ils sont appareillés. Cette différence est significative (w = 325 ; p<0,001).

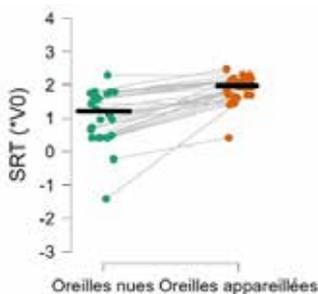


Figure 17. Illustration du test des rangs signés de Wilcoxon avec des nuages de points et les médianes correspondantes, patients malentendants oreilles nues et oreilles appareillées (25 sujets).

La figure ci-dessous représente le SRT des oreilles appareillées en fonction du SRT oreilles nues, et la droite d'équation y=x. Hormis deux patients qui sont proches de la droite et n'ont pas d'amélioration du SRT lorsqu'ils sont appareillés, les SRT oreilles appareillées sont supérieurs au SRT oreilles nues.

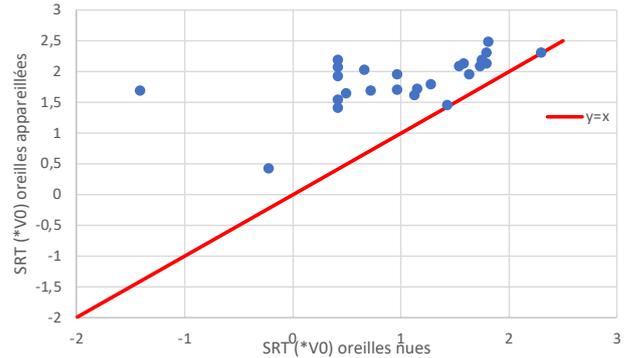


Figure 18. Nuage de points représentant le SRT des sujets oreilles appareillées en fonction du SRT des sujets oreilles nues.

5. Influence des constantes de temps

Nous comparons ici le SRT avec les trois réglages différents. Pour ce faire, nous réalisons un test ANOVA non paramétrique à un facteur répété, soit une ANOVA de Friedman. Le résultat obtenu est là encore cohérent avec les résultats vus précédemment, à savoir qu'il n'existe pas de différences significatives de SRT entre les 3 réglages (chi²(2) = 1,500 ; p = 0,4472).

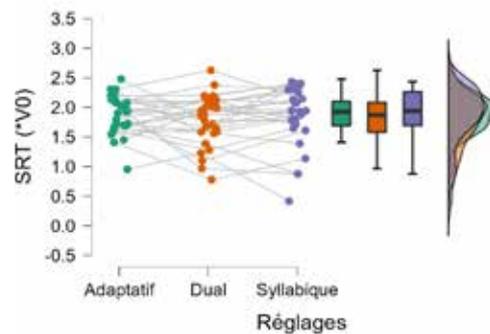


Figure 19. Illustration du test ANOVA de Friedman avec des nuages de points représentant les valeurs des SRT (\*V0), et des boîtes à moustaches représentant la médiane, les quartiles à 25% et 75%, le min et le max du SRT, patients malentendants oreilles nues et oreilles appareillées (25 sujets).

V. Progrès réalisés et relation avec l'âge, la perte tonale et les résultats au codex

Enfin, nous nous sommes intéressés au progrès réalisé et à sa relation avec l'âge, la perte tonale et les résultats au CODEX. Le progrès est défini comme la différence entre le SRT obtenu oreilles appareillées et oreilles nues. Nous avons tout d'abord réalisé un test non paramétrique de corrélation de Spearman sur les 25 sujets de la population malentendante. Nous n'obtenons pas de résultats significatifs pour l'âge (rho = 0,290 ; p = 0,160), ni pour la perte tonale, même si la p value est ici proche de 0,05 (rho = 0,392 ; p = 0,053).

Spearman's Correlations			
Variable		Progres	Perte tonale
1. Progres	Spearman's rho	—	—
	p-value	—	—
2. Perte tonale	Spearman's rho	0.392	—
	p-value	0.053	—
3. Age	Spearman's rho	0.290	-0.058
	p-value	0.160	0.782

Tableau 6. Matrice de corrélation de Spearman étudiant la corrélation entre les progrès et l'âge et la perte tonale.

Nous avons enfin réalisé un test non paramétrique de Mann-Whitney afin d'étudier la relation entre les progrès et les résultats obtenus au CODEX. La médiane du progrès passe de 0,545 pour le groupe A à 0,966 pour le groupe B, mais comme nous l'indique le tableau ci-dessous, les résultats obtenus ne sont là encore pas significatifs ( $w=58$  ;  $p=0,295$ ).

Independent Samples T-Test ▼			
	W	df	p
Progres	58.000		0.295

Note. Mann-Whitney U test.

Tableau 7. Test de Mann-Whitney étudiant la relation entre les progrès et les résultats obtenus au CODEX

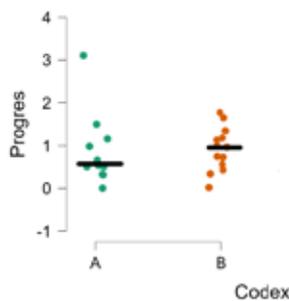


Figure 20. Illustration du test de Mann-Whitney avec des nuages de points et la médiane du progrès en fonction du résultat au test CODEX, population malentendante (25 sujets).

## DISCUSSION

En premier lieu, la comparaison entre la population normo-entendante et la population malentendante nous permet de mettre en évidence la difficulté de compréhension des personnes malentendantes et le SRT passe de 1,150\*V0 chez les malentendants à 2,543\*V0 chez les normo entendants ( $w=1.000$  ;  $p<0.001$ ). C'est une conclusion triviale certes, mais importante tout de même puisque ce mémoire part de cette constatation.

De même, le lien entre la perte auditive et le SRT calculé est significatif, puisque la p value obtenue au test de corrélation de Pearson est de 0,043. Ce résultat est cohérent avec ce qui est observé dans la littérature. En effet, certaines études mettent en avant un facteur d'origine centrale pour la compréhension de la parole accélérée, mais l'aspect périphérique est incontestablement à prendre en compte. Ainsi, d'après Shanon et al. (1998), dans des conditions d'écoute idéales, les mécanismes centraux de reconnaissance de la parole et d'accès linguistique disposent d'un ensemble riche et redondant d'indices périphériques. Mais lorsque les conditions d'écoute sont détériorées, ou dans des conditions de pathologie périphérique, la reconnaissance centrale doit travailler avec un ensemble réduit d'indices provenant de la périphérie. Les résultats de l'étude ont montré que les mécanismes centraux ne sont pas robustes aux distorsions dues à la perte auditive, et des informations périphériques limitées ont donc un impact sur la reconnaissance de la parole. On comprend aisément que chez le malentendant, la parole rapide et les indices acoustiques altérés seront d'autant plus difficiles à traiter que la diminution de l'audibilité des indices vocaux, couplée à un affaiblissement des capacités psychoacoustiques, sont importantes.

Cohérent également avec la littérature, le test de Mann-Whitney indique un lien significatif entre les capacités cognitives et la

compréhension d'une parole accélérée, où le SRT passe de 1,584\*V0 pour le groupe A, à 0,693\*V0 pour le groupe B ( $p = 0,013$ ). La parole accélérée est donc mieux comprise chez les personnes ayant un meilleur score au test CODEX.

Néanmoins, dans notre étude, le lien entre l'âge et le SRT calculé n'est pas significatif. En effet, on obtient avec le test de corrélation de Pearson une p value de 0,168. Ici, les résultats ne sont donc pas en accord avec ceux précédemment observés dans la littérature. On rappelle que d'après Gordon Salant et al. (2001), il existe un effet de l'âge sur la reconnaissance des phrases et expressions linguistiques accélérées. Les difficultés de compréhension d'une parole rapide chez les personnes âgées sont associées à des difficultés à traiter les indices acoustiques brefs et limités des consonnes (inhérents à la parole rapide). Ceci est à coupler à une diminution des capacités cognitives avec l'âge, alors que la demande en ressources cognitives augmente justement dans le cas d'une parole accélérée. Plus récemment, Grose et al. (2010) ont confirmé que les auditeurs âgés avaient une reconnaissance réduite de la parole rapide. On peut se poser la question de la taille de l'échantillon, il serait intéressant de voir si des résultats significatifs sont obtenus avec un échantillon plus représentatif. On pourrait également s'interroger sur le matériel phonétique utilisé et sur le fait que des listes de phrases demandent moins de ressources cognitives. Ainsi par exemple, en 2001, Gordon Salant et al. ont démontré que les effets de l'âge ont été observés pour les chaînes de mots aléatoires mais pas pour des phrases ou des expressions linguistiques non modifiées.

La comparaison faite entre les scores obtenus chez le malentendant oreilles nues et appareillées à différentes vitesses d'élocution va dans le sens d'une meilleure reconnaissance de la parole accélérée lorsque le patient est appareillé. En effet le test des rangs signés de Wilcoxon indique une différence significative ( $p<0,001$ ) du SRT dont la médiane passe de 1,150\*V0 chez les sujets oreilles nues, à 1,958\*V0 lorsqu'ils ont les oreilles appareillées ( $w = 276$  ;  $p<0,001$ ). L'appareillage va donc permettre une meilleure audibilité des indices vocaux, et donc une meilleure reconnaissance de la parole, y compris accélérée. Ces résultats corroborent notamment ceux obtenus par Buet (2012) qui conclut à une amélioration de l'intelligibilité, y compris lors d'un discours rapide, avec l'appareillage.

En ce qui concerne la comparaison des différents réglages, le test ANOVA de Friedman réalisé indique qu'il n'existe pas de différences significatives du SRT entre les 3 réglages ( $p = 0,4472$ ). Peut-être que le test manque de puissance, mais ces résultats vont aussi dans le sens de ceux obtenus par Jenstad et al. (2005) où même si les temps de retour ont un impact sur l'EDI (Index de différence d'enveloppe) et le CVR (ration consonnes – voyelles), il n'y a pas de différences significatives en termes de reconnaissance de la parole. Cela est explicable par le double impact d'un Tr court sur les phonèmes, qui d'un côté permet une meilleure audibilité et donc une meilleure reconnaissance des phonèmes, mais qui parallèlement implique de forts changements acoustiques néfastes à cette reconnaissance. Ainsi un temps de retour court ni ne favorise, ni ne défavorise la reconnaissance de la parole dans le silence, et probablement en est-il de même pour des vitesses d'élocution plus élevées.

De même, d'après Verschuure et al. (1996), la compression est à peine effective sur un signal de parole dans le silence ; elle supprimerait probablement les informations de niveau sur le pattern d'intonation et compresserait les différences entre les mots et les syllabes, pas entre les phonèmes. Il semblerait que c'est également le cas pour la parole accélérée, où la reconnaissance des phonèmes n'est pas impactée par la compression, quelles que soient les constantes de temps.

Là encore, on peut se poser la question du matériel phonétique et se demander si nous aurions obtenu le même résultat avec des listes de mots ou de logatomes. En effet, si la compression, quelles que soient les constantes de temps, ne joue que sur le pattern d'intonation et ne comprime les différences qu'entre les mots et les syllabes, une modification des constantes de temps ne devrait pas donner de différences significatives en termes de reconnaissance de logatomes accélérés (bien que le SRT devrait être plus élevé qu'avec des phrases).

Enfin nous n'obtenons aucun résultat significatif lorsque nous étudions la relation entre l'âge, la perte tonale, les résultats au CODEX et le progrès réalisé, mais là encore, on peut se poser la question de la taille de l'échantillon et se demander si nous obtenons les mêmes résultats avec un échantillon plus important.

Il est à noter que le test de résistivité mis en œuvre est intéressant car il n'est pas difficile à réaliser et est pourtant représentatif des difficultés des patients. Il pourrait être judicieux de le développer plus largement dans les laboratoires, et notamment pour voir si les réglages effectués permettent une amélioration dans ces situations.

## CONCLUSION

Notre étude est partie du constat que deux plaintes récurrentes sont émises par les patients : la compréhension dans le bruit et la compréhension lors d'un débit de parole élevé. Les prothèses auditives aident les patients dans ces deux situations difficiles. En ce qui concerne la vitesse d'élocution, nous l'avons d'ailleurs vérifié dans ce mémoire puisque le SRT est significativement plus haut lorsque le patient est appareillé ; il comprend mieux les phrases plus rapides. L'audibilité est donc un facteur important dans la reconnaissance de la parole rapide, et l'audioprothésiste peut jouer sur ce facteur pour aider son patient.

## « NOTRE ÉTUDE EST PARTIE DU CONSTAT QUE DEUX PLAINTES RÉCURRENTES SONT ÉMISES PAR LES PATIENTS :

la compréhension dans le bruit et la compréhension lors d'un débit de parole élevé. »

La compression est un autre paramètre auquel l'audioprothésiste a accès. De nombreuses études ont été menées pour évaluer son effet sur la compréhension d'un signal de parole. Et si certaines études montrent que les constantes de temps peuvent avoir un impact important, notamment dans le bruit, d'autres avancent que dans le silence, les altérations acoustiques engendrées n'ont pas d'impact sur la compréhension. Les résultats de notre étude vont dans ce sens également pour une vitesse d'élocution élevée, c'est-à-dire qu'il semblerait que le choix de constantes de temps différentes n'a pas de répercussion sur la compréhension en cas de vitesse d'élocution élevée.

Notre étude présente sans doute une faiblesse : la taille des échantillons étant un peu faible, certains résultats sont difficiles à interpréter. On peut noter également que nous nous sommes ici posé la question des constantes de temps de la compression, mais on pourrait aussi se demander si un réglage linéaire versus un réglage comprimé a un impact sur le SRT. En outre, retrouve-t-on les mêmes résultats avec un autre matériel phonétique ?

## BIBLIOGRAPHIE

- 1. Amouyal W., Matillon Y. (dir). *Mise en œuvre d'un test de résistivité de l'intelligibilité en fonction de la vitesse d'élocution*. 59 p. Mémoire d'audioprothèse. Lyon : Université Claude Bernard Lyon 1, 2011.
- 2. Ardoit M., Lorenzi C. *Effects of lowpass and highpass filtering on the intelligibility of speech based on temporal fine structure or envelope cues*. *Hearing Research*. 2010 Feb, Vol. 260(1-2). P.89-95.
- 3. Belmin J., Pariel-Madjlessi S., Surun P., Bentot C., Feteanu D., Lefebvre Des Noettes V. et al. *The cognitive disorders examination (Codex) is a reliable 3-minute test for detection of dementia in the elderly (validation study on 323 subjects)*. *La Presse Medicale*. Sept 2007, Vol. 36, N°9, cahier 1. P.1183-1190.
- 4. Buet E., Matillon Y. (dir). *Etude de l'apport de l'appareillage sur l'intelligibilité chez les personnes presbycusiques dans le cas d'une vitesse d'élocution élevée*. 56p. Mémoire d'audioprothèse. Lyon : Université Claude Bernard Lyon 1, 2012.
- 5. Bond Z.S., Moore T.J. *A note on the acoustic-phonetic characteristics of inadvertently clear speech*. *Speech Communication*. Sept 1994, Vol. 14, N°4, P.325-337.
- 6. Cutler A., Mehler J., Norris D., Segui J. *A language-specific comprehension strategy*. *Nature*. Jul 1983, Vol. 304, P. 159-160.
- 7. Delgutte B., Hammond B.M. *Traitements de la parole par le système auditif*. *Les Cahiers de l'Audition*. juillet-août 1997, Vol. 10, N°4. P. 14-21.
- 8. Dreschler W.A. *Phoneme Perception via Hearing Aids with and without Compression and the Role of Temporal Resolution*. *Audiology*. 1989, Vol. 28, Issue 1, P. 49-60.
- 9. Drullman R., Festen J.M., Plomp R. *Effect of reducing slow temporal modulations on speech reception*. *J. Acoust. Soc. Am.* 1994, Vol. 95, P.2670-2680.
- 10. Fullgrabe C. *Traitement auditif d'enveloppes temporelles : L'approche psychoacoustique*. *Fondation Fyssen*. 2006, Annales 21, P.135-144.
- 11. Gallego S., Seldran F., Cotton F., Collet L. *Evaluation d'un nouveau test d'intelligibilité : effet de la durée du mot*. *L'Ouïe Magazine*. Mars-avril 2010, N°31, P. 17-19.
- 12. Gatehouse S., Graham N., Elberling C. *Linear and nonlinear hearing aid fittings – 1. Patterns of benefit*. *International Journal of Audiology*. 2006, Vol. 45, P.130-152.
- 13. Gatehouse S., Graham N., Elberling C. *Linear and nonlinear hearing aid fittings – 2. Patterns of candidature*. *International Journal of Audiology*. 2006, Vol 45, P. 152-171.
- 14. Gordon Salant S., Fitzgibbons P.J. *Sources of Age-Related Recognition Difficulty for Time-Compressed Speech*. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2001, Vol 44, P. 709-719.
- 15. Gose J.H., Mamo S.K., Hall III J.W. *Age effects in temporal envelope processing: speech unmasking and auditory steady state responses*. *Ear and Hearing*. 2009, Vol.30, Issue 5, P. 568-575.
- 16. Hoppe U., Hocke T., Muller A., Hast A. *Speech Perception and Information-Carrying Capacity for Hearing Aid Users of Different Ages*. *Audiology & Neurotology*. 2016, Vol. 21, Supp 1, P. 16-20.
- 17. Jacquier C., Meunier F. *Corrélatifs auditifs et cognitifs à la capacité de restauration de la parole accélérée*. *Journée d'étude de la Parole*, 12-16 juin 2006. P.445-448.
- 18. Jenstad L.M., Souza P.E. *Quantifying the Effect of Compression Hearing Aid Release Time on Speech Acoustics and Intelligibility*. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2005, Vol. 48, P.651-667.
- 19. Jenstad L.M., Souza P.E. *Temporal Envelope Changes of Compression and Speech Rate: Combined Effects on Recognition for Older Adults*. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2007, Vol. 50, Issue 5, P. 1123-1138.
- 20. Kates J.M. *Principles of Digital Dynamic-Range Compression*. *Trends in Amplification*. 2005, Vol.9, N°2, P.45-76.
- 21. Krause J.C., Braida L.D. *Investigating alternative forms of clear speech: The effects of speaking rate mode on intelligibility*. *Journal of Acoustic. Soc. Am.* 2002, Vol.112, N°5, P. 2165-2172
- 22. Lorenzi C., Gilbert G., Carn H., Garnier S., Moore B.C.J. *Speech perception problems of the hearing impaired reflect inability to use temporal fine structure*. *Proceedings of the National Academy of Science USA*. 2006, Vol.103, N°49, P.18866-18869.
- 23. Lorenzi C., Apoux F. *Importance du traitement temporel des informations auditives*. *Les Cahiers de l'Audition*. 2000, Vol. 13, P. 46-51.

- 24. Moore B.C.J. *The Choice of Compression Speed in Hearing Aids: Theoretical and Practical Considerations and the Role of Individual Differences.* Trends in Amplification. 2008, Vol.12, N°2, P.103-112.
- 25. Nguyen N. *Perception de la parole.* Phonologie et phonétique. Hermès, 2005. P. 425-447.
- 26. Kashyap P, Panahi I.M.S. *Compression Fitting of Hearing Aids and Implementation.* 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC). 2020. P. 968-971.
- 27. Payton K., Uchanski R., Braida L. *Intelligibility of conversational and clear speech in noise and reverberation for listeners with normal and impaired hearing.* The Journal of the Acoustical Society of America. 1994, Vol. 95, P. 1581-1592
- 28. Pedersen C.B, Elberling C. *Temporal integration of acoustic energy in patients with presbycusis.* Acta Oto-laryngologica.1973, Vol. 75, N° 1, P.7-32.
- 29. Picheny M., Durlach N., Braida L. *Speaking clearly for the hard of hearing I: intelligibility differences between clear and conversational speech.* Journal of Speech and Hearing research. 1985, Vol. 28, P.96-103.
- 30. Picheny M., Durlach N., Braida L. *Speaking clearly for the hard of hearing II: acoustic characteristic of clear and conversational speech.* Journal of Speech and Hearing Research. 1986, Vol. 29, P.434-446.
- 31. Picheny M., Durlach N., Braida L. *Speaking clearly for the hard of hearing III: An attempt to determine the contribution of speaking rate to difference in intelligibility between clear and conversational speech.* Journal of Speech and Hearing Research. 1989, Vol. 32, P.600-603.
- 32. Rosen S. *Temporal information in speech: acoustic, auditory and linguistic aspects.* Philosophical Transactions: Biological Sciences. Londres: Royal Society, 1992, Vol. 336, P.367-373.
- 33. Shannon R.V., Zeng F.G., Wygonski J., Kamath V., Ekelid M. *Speech recognition with primarily temporal cues.* Science. 1995, Vol. 270, P. 303-304.
- 34. Shannon R.V., Zeng F.G., Wygonski J. *Speech recognition with altered spectral distribution of envelope cues.* Journal of Acoustical Society of America. 1998, N°104, P. 2467-2476.
- 35. Shetty H.N, Raju S. *Effect of compression release time of a hearing aid on sentence recognition and the quality judgment of speech.* Noise&Health. 2019, Vol21, N°103, P. 232-241.
- 36. Tardieu L., Fontan C., Magnen J., Gaillard P. *Simulation des effets de la presbycusis sur l'intelligibilité et la compréhension de la parole dans le silence et dans le bruit.* 30eme édition des Journées d'Etudes sur la Parole, juin 2014.
- 37. Uchanski et al. *Speaking Clearly for the Hard of Hearing IV: Further Studies of the Role of Speaking Rate.* Journal of Speech, Language, and Hearing Research. 1996, Vol. 39, P.494-509.
- 38. Vaughan N., Furukawa I., Balasingam N., Mortz M., Fausti S. *Time-expanded speech and speech recognition in older adults.* The Journal of Rehabilitation Research and Development. 2001, Vol. 39, N°5, P. 559-566.
- 39. Verschuure J., Maas A.J.J., Stikvoort E., De Jong R.M, Goedegebure A., Dreschler W.A. *Compression and its Effect on the Speech Signal.* Ear and Hearing. 1996, Vol.17, Issue 2, P.162-175.



"Sonance Audition est un groupement d'audioprothésistes indépendants, créé en 2014 par des audioprothésistes pour des audioprothésistes afin de promouvoir ensemble notre métier, développer notre savoir-faire et affirmer passionnément nos valeurs."



RÉSEAU D'AUDIOPROTHÉSISTES INDÉPENDANTS

**sonance**  
AUDITION

ENTRE NOUS, IL Y A L'ÉCOUTE.



## LA PERFECTION DU SON NATUREL

### WIDEX SOUND ASSIST™ LE MICRO-PARTENAIRE MULTIFONCTION 5 EN 1

Découvrez **la révolution Widex Sound Assist™**, le micro-partenaire **multifonction 5 en 1**, discret et design. Micro-partenaire, microphone de table, kit mains-libres, streaming Bluetooth®, télécommande, et Bobine T, le Widex Sound Assist est l'accessoire parfait pour les utilisateurs actifs à la recherche d'une **communication plus fluide** et d'un rapport signal sur bruit optimisé.

# WIDEX

SOUND LIKE NO OTHER\*

\* UN SON COMME AUCUN AUTRE



**Auteur**

**Eric HANS**

Audioprothésiste D.E  
Membre du réseau Enfants et Implants  
Amplifon E HANS  
Montbéliard  
25200 MONTBELIARD

## LA PRISE D'EMPREINTE ET LE CHOIX DE L'EMBOUT AURICULAIRE

Depuis près de vingt ans et l'arrivée des tubes fins et des dômes standardisés, certains professionnels de l'audition ont perdu l'habitude de réaliser des embouts auriculaires sur mesure, en dehors de la réalisation des obturateurs anti-eau et anti-bruit. Aussi cet article a pour objectif de rappeler la technique de la prise d'empreinte pour tout type de patients ainsi que certaines recommandations en vue de faciliter le choix et la conception des modèles d'otoplastiques.

### L'OTOSCOPIE

Puisque l'otoscopie est le premier acte à pratiquer, il nous faut décrire les conditions de son déroulement précis afin d'écartier les contre-indications temporaires ou définitives de cette prise d'empreinte.

Nous insistons sur les conditions d'hygiène nécessaires à cette étape cruciale, comme l'usage de matériels à usage unique tels les spéculums jetables (même s'il existe des spéculums en inox réutilisables après désinfection approfondie), les blocs coton en mousse ou en coton hydrophile taillés sur mesure, et la stricte observance du nettoyage désinfectant du pousse-coton lumineux. Il est également précisé qu'il convient d'employer un spéculum pour chaque conduit auditif externe en cas d'infection unilatérale connue afin de ne pas contaminer l'autre conduit.

**LE MATERIEL :** S'il est obligatoire selon l'article D 4361-20 du Code de la Santé Publique de disposer d'un otoscope éclairant et d'un miroir de Clar, d'autres instruments comme la lampe frontale, le vidéotoscope et même le microscope (nécessaire à la pose d'intra-auriculaires à port permanent) sont utilisables. On confirmera, en se servant de deux équipements différents, l'absence de corps étranger, de bouchon de cérumen, d'inflammations, de perforation tympanique, d'otorrhée, d'otorragie, de malformations telles agénésie, sténose ou exostose du conduit comme celles du pavillon et de la conque (microtie ou aplasies mineures), la présence de séquelles post-chirurgicales comme l'évidement pétro-mastoïdien (à cavités multiples parfois) afin de définir à l'œil nu la profondeur d'insertion de la protection tympanique et de s'assurer ainsi de la qualité du moulage à réaliser.

### LA TECHNIQUE

Dans tout acte opéré sur un patient lors de la procédure d'appareillage, on veille à délivrer des consignes claires, précises et détaillées ; la prise d'empreinte étant un geste médical n'y échappe évidemment pas. Des explications rassurantes sur le déroulement doivent faciliter l'approche physique tant de l'audioprothésiste que des outils nécessaires : on doit obtenir l'approbation orale du patient pour toucher son pavillon et introduire un bloc de protection à l'aide d'un pousse-coton

qui peut être vécu comme une ingérence désagréable dans l'intimité de la personne (picotement ou irritation de la peau du conduit, sensation d'occlusion ou d'autophonie durant la polymérisation), et risques de blessure en cas de mouvements incontrôlés du sujet.

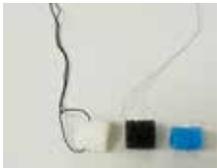
	Bloc-coton mousse	Coton sur mesure
		
Mise en place	Peut irriter la peau du CAE	Indolore
Profondeur d'insertion	Probable nécessité de retailler pour insertion au-delà du 2 <sup>e</sup> coude	Permet aisément d'aller au-delà du 2 <sup>e</sup> coude
Retrait de l'empreinte	Risque d'aspiration du tympan si cavité résiduelle étanche	Flux d'air de la cavité résiduelle peut s'échapper latéralement

Tableau 1 : Différences d'utilisation des bloc-coton.

La mise en place du bloc coton, qu'il soit en mousse standard cylindrique ou en coton hydrophile taillé sur mesure, se fera le plus loin possible, aux environs des 2/3 voire des ¾ de la longueur du CAE pour deux raisons au moins :

- Il est recommandé par les prothésistes d'embouts de visualiser les deux coudes du CAE afin d'en relever l'axe direct vers le tympan ;
- Quel que soit le degré de surdité, et notamment chez l'enfant dont la croissance du CAE peut aller jusqu'à l'âge de 16 ans, une empreinte longue sera plus aisée à travailler, retailler ou raccourcir, et permettra de limiter les effets du larsen, car il n'est pas rare chez le nourrisson de constater, même avec des

délais courts de fabrication pour des empreintes scannées, que l'embout sur mesure est bien vite trop petit et plus assez étanche à ce phénomène physique de rétroaction acoustique quand on approche la main ou que l'enfant fait des rotations de sa tête dans son siège.

Malgré les particularités de l'articulation temporo-mandibulaire, il n'est pas flagrant tant pour l'audioprothésiste que pour le fabricant d'embouts auriculaires de concevoir un moulage efficace, plus ajusté contre l'effet larsen, à partir d'une prise d'empreinte faite bouche fermée et une autre bouche ouverte.

Ensuite nous vérifions à l'otoscope ou au vidéotoscope la parfaite étanchéité du bloc-coton. L'extrémité de la seringue ou de la canule mélangeuse devra venir au-devant de cette protection tympanique.

Lors de l'injection de la pâte, il convient d'orienter la sortie de la seringue ou de la canule mélangeuse plutôt vers une des faces du CAE que dans l'axe du conduit afin d'éviter tout risque de pression trop forte du silicone sur la cavité d'air résiduelle entre ce bloc-coton et le tympan, notamment pour les chirurgies d'oreille telles les tympanoplasties ou séquelles d'otites et autres poches de rétraction, entraînant parfois une hyper-flaccidité de la membrane qui pourrait rompre sous un déplacement d'air. Le même phénomène peut apparaître lors du retrait de l'empreinte si l'on ne prend pas garde au préalable à dégager la partie sous hélix ou fossette naviculaire pour créer un échappement d'air de la cavité résiduelle en basculant l'ensemble vers l'avant pour retirer précautionneusement le moulage.

Un coton intégrant un tube fermé à son extrémité extérieure (voir photo ci-dessous) peut faire office d'entrée d'air à l'extraction de l'empreinte (pour les fabrications d'intra-auriculaires semi-profonds ou profonds) : il suffit d'inciser le tube silicone pour faire pénétrer de l'air ou dégager la pression éventuelle de la cavité résiduelle et en diminuer les effets physiques désagréables.



Exemple d'insertion d'un bloc-coton à tube d'air

Quel que soit la forme d'otoplastique requis (embout sur mesure, embout pour écouteur déporté, obturateurs ou équipement de protection individuel), il est évident que nous injectons la matière de façon à remplir tous les volumes du CAE, tragus, antitragus, conque et hélix.

La pression exercée sur le poussoir de la seringue doit se faire d'un mouvement continu et demande un apprentissage pour en contenir la force d'évacuation du silicone ; en ce qui concerne le pistolet à cartouches, le geste s'il semble plus aisé par une pression constante, ne restitue pas l'intensité d'écoulement

seulement visible au travers de la canule mélangeuse. Dans les deux cas, nous préconisons l'usage d'un petit morceau de plastique transparent pour aplatir la pâte dans la conque dans le but évident de s'affranchir de bulles d'air ou de manques de matière à certains endroits, ce qui exigerait de renouveler l'acte. Le résultat doit montrer que la pâte s'intègre parfaitement au bloc-coton protecteur en venant s'appuyer contre lui sans espace.



Empreinte réalisée à la seringue



Empreinte réalisée à la seringue



Empreinte réalisée au pistolet



Empreinte réalisée au pistolet

### LES PÂTES A EMPREINTE

Il n'existe plus de nos jours que des matériaux élastomères à base de silicone ou polysiloxanes réticulants (permettant la polymérisation tridimensionnelle) par polyaddition de composants (une base et un catalyseur associés en proportion 50/50). La dureté, mesurée en shore, de ces pâtes vont de 20 à 40 shores et assurent ainsi un temps de séchage complet allant de 2 à 4 minutes, selon les divers fabricants ; cette matière rend l'empreinte finale à la fois souple, résistante au déchirement et très peu déformable une fois polymérisée.

Les pâtes par polycondensation, où le temps de séchage était très variable en fonction du mélange, ne sont plus commercialisées en France car les empreintes obtenues par ce procédé devaient être travaillées sous 48 heures sous peine de déformations par rétrécissement ; elles n'avaient leur intérêt que pour la maîtrise d'un temps de séchage raccourci en présence des sujets pédiatriques tels les nourrissons.

### LA SERINGUE OU LE PISTOLET A INJECTION

La préconisation de l'outil de prise d'empreinte se résume au choix pour tous les patients, adultes ou adolescents, de l'emploi de cartouches bi-composants où l'assemblage s'effectue dans l'embout mélangeur, ou de la seringue pour l'usage de pâtes par polyaddition en mélange 50/50 à la main que nous recommandons pour les patients pédiatriques, et plus ils sont jeunes (par exemple inférieurs à 2 ans) moins l'acte sera ressenti invasif, ou des personnes, quel que soit l'âge, présentant des troubles associés du comportement ou de la personnalité, ou encore d'atteintes psychiatriques, pour lequel le pistolet peut se révéler perturbant, effrayant voire traumatisant.

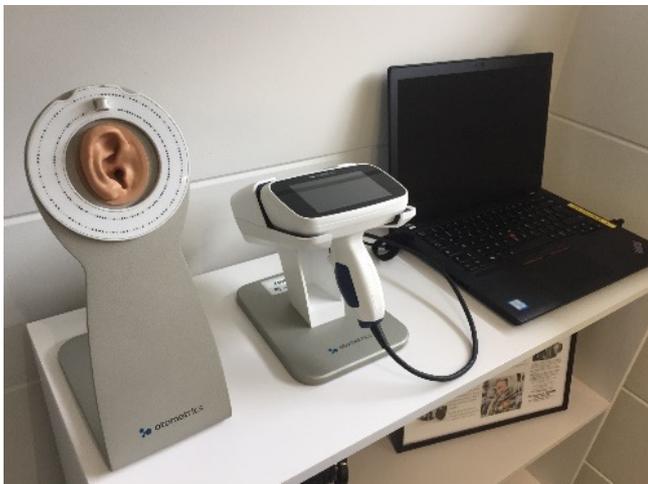


Seringue et cartouches de silicone

### LA PRISE D'EMPREINTE SOUS AI (OTOSCAN)

A côté de la prise d'empreinte traditionnelle, il existe maintenant la possibilité d'exécuter un scanner des conduits auditifs par l'utilisation d'un équipement dédié :

- un logiciel de formation,
- un logiciel de capture d'images relié à un site de stockage,
- un scanner de capture comprenant deux caméras de suivi,
- la mise en place d'un casque avec un anneau de suivi,
- la sonde intégrant la caméra grand angle, une source de lumière, un laser circulaire et un laser linéaire et un écran tactile de contrôle de la construction des images 3D.



Otoscan ® complet



Capture d'images 3D (crédit Natus)

Il convient de recevoir un entraînement spécifique pour le bon maniement du dispositif, à la fois pour le déroulement complet de l'opération que comme de captures de données et apparition de l'image tridimensionnelle. S'il est vrai que la durée totale pour réaliser deux scanners de CAE prend presque le double de temps de deux empreintes classiques, il n'en demeure pas moins que cette méthode devrait à terme constituer une solution d'avenir pour les motifs suivants :

- certaines contre-indications de la prise conventionnelle sont levées : la présence de perforation résiduelle sèche, les cavités d'évidement, les exostoses, l'extraction inconfortable ou douloureuse de l'empreinte,
- la garantie de respect de règles d'hygiène et de non-contamination du CAE,
- l'assurance d'effectuer un véritable scanner complet de l'oreille en 3 étapes : le CAE, les parties planes du pavillon (conque ; anthélix, tragus et antitragus), et les parties courbes (fossette naviculaire, l'arrière du tragus et de l'antitragus) ; la conception d'embouts ou de coques pourrait s'avérer plus fidèle, plus précise et plus étanche qu'à partir d'autres techniques,
- la transmission par voie dématérialisée des fichiers d'empreintes est un gain de temps de traitement.



Exemple de scan d'oreille 3D (Otoscan ®)

Les freins au déploiement de cette nouvelle technique peuvent se résumer ainsi :

- plusieurs contre-indications subsistent : les volumes de CAE trop petits ou n'autorisant pas l'introduction de la sonde (cas des enfants en bas âge), les consignes d'immobilisme du patient durant toute la procédure de capture, ne pas parler ni émettre des mouvements involontaires de la tête (tels que bâillements ou éternuements) ou même du corps (pathologies neurologiques) peuvent empêcher la réalisation fiable de l'empreinte numérique et nécessitent de recommencer,
- les risques non négligeables de lésions du CAE pour certains opérateurs moins expérimentés et ne pratiquant pas assez d'empreintes sur une année,
- des anomalies de capture créées par des artefacts liés à la pilosité du CAE ou à la présence de résidus de cérumen,
- le coût de l'investissement et des frais d'abonnement au site hébergeur,
- la nécessité d'un étalonnage annuel immobilisant le matériel.

### LE CHOIX DE L'EMBOUIT AURICULAIRE

Nous souhaitons terminer cet article par un rappel de quelques conseils non exhaustifs en ce qui concerne la sélection de la forme, de la matière et de l'aération du moulage sur mesure.

Hormis la fabrication de protections anti-bruit ou anti-eau requérant des impératifs de conception circonstanciée, les embouts sur mesure (comme les coques d'intra-auriculaires) font appel à des choix de forme répertoriée, du plus petit au plus volumineux : micro-embout (pour les écouteurs déportés), conduit ou canule (pour les pertes légères à moyennes et des CAEs non inclinés), conduit ou canule à épaulement plus ou moins longs dans la conque (pour une rétention satisfaisante dans le CAE et éviter un glissement vers l'extérieur qui provoquerait le phénomène de larsen), semi-conque (pour la même raison que précédemment), porte-tube (permettant une aération maximale de type IROS quand un tube fin sur dôme n'est pas envisageable), silhouette ou pince de crabe (pour les personnes ayant des problèmes d'habileté manuelle à la mise en place), squelette ou phantomold (pour le meilleur compromis dans les pertes sévères et une aération de la conque), et coquille ou fond d'oreille (pour un bon maintien des embouts silicone dans les risques de larsen, mais qui reste peu usité de nos jours pour des motifs esthétiques et de chaleur entretenue dans tout le pavillon).

La matière d'un embout se choisit en fonction de critères liés à l'étanchéité requise (pertes sévères et profondes) et au besoin de confort de port (conduits sensibles ou avec des pathologies dermatologiques, ou aussi en lien avec la croissance des conduits des jeunes enfants). Il existe selon les fabricants l'acrylique anallergique 3D ou polymérisé aux UV ou par fabrication haute pression.

Il constitue un matériau homogène, stable et bien toléré par tous types de patients ; des revêtements de type antibactériens ou de type laques anallergiques sont possibles contre des intolérances à la durée de port ou des allergies aux différents composants des embouts. Pour les formes sérieuses d'allergies chroniques l'usage du titane est à conseiller pour limiter les complications.

En ce qui concerne la matière en silicone, elle est recommandée pour toutes les pertes importantes dans un but évident d'étanchéité maximale et également pour tous les enfants dans un souci sécuritaire au quotidien (risques de chocs sur le pavillon, pratique de sports) et d'adaptabilité à la morphologie des CAEs infantiles qui vont se modifier avec la croissance. En cas fréquents d'apparition du larsen, on changera de diamètre du tube pour limiter cet effet le temps de concevoir un nouvel embout.

La dureté du silicone varie entre 20 et 25 shores pour les plus souples jusqu'à 40 ou 60 shores pour des embouts un peu plus rigides, dans l'hypothèse d'enfants détériorant leur embout ou pour des adultes souhaitant un compromis entre le silicone hyper-souple et la résine dure. Un revêtement par vernis, s'il réduit la probabilité de réaction cutanée, peut conduire à des allergies par frottement.

Dans l'incapacité de tolérance aux deux matières, acrylique dur et le silicone, il reste la possibilité de faire un embout en Thermotec pour les conduits très sensibles, éviter les irritations persistantes, répondant aux tests de cytotoxicité ; les cas de larsen résiduels peuvent se solutionner avec cette matière.

Enfin pour les coques d'intra-auriculaires en résine acrylique nous conseillerons en présence d'allergies diverses ou d'irritations dues à une mise en place hasardeuse un ajout de traitement par vitrification au silicate de verre ou d'autres laques anallergiques assez efficaces.

L'aération ou l'usage d'un évent sur un embout comme pour un intra-auriculaire repose sur des critères de sélection propres à chaque professionnel audioprothésiste et qui ont évolué au cours de notre expérience. Il est toujours préconisé d'en prévoir une (sauf les cas de surdités profondes), dans le but de mieux positionner l'axe, soit du tube utilisé soit de la sortie de l'écouteur, et de laisser ce trou de ventilation qui diminuera le degré de chaleur dans la cavité résiduelle du CAE, limitera les risques d'infection, apportera une meilleure sensation de sa propre voix ou des turbulences acoustiques de cette même cavité.

Le diamètre de l'évent est un choix individuel qui demeure en étroite lien avec les seuils auditifs dans le « carré » délimité par les fréquences 125 à 1000 Hz et les valeurs 0 à 45 dB ; nous considérons que plusieurs points dans cette zone nécessitent une aération obligatoire. Libre au professionnel d'en réduire ou agrandir la taille en fonction des

mesures audiométriques en champ libre, des seuils obtenus, des mesures in vivo, et du respect du ressenti patient selon les tests pratiqués.

La prise d'empreinte n'est donc pas un acte anodin, sans conséquence sur les résultats escomptés et relevés lors du cycle d'appareillage d'un patient ; elle entraîne toutes sortes de conséquences sur la réalisation d'un moulage sur mesure, l'efficacité de la jonction endo-auriculaire, et les performances de l'adaptation finale pour atteindre la satisfaction de nos patients.

### « LA PRISE D'EMPREINTE... ENTRAÎNE TOUTES SORTES DE CONSÉQUENCES..

sur la réalisation d'un moulage sur mesure,  
l'efficacité de la jonction endo-auriculaire,  
et les performances de l'adaptation finale pour  
atteindre la satisfaction de nos patients. »

### RÉFÉRENCES

- LEONORI Elise : *Otoscan®, Utilisation et retour d'expérience, Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat d'Audioprothésiste, Université de Lorraine, Faculté de Pharmacie 2021.*
- MORIN François-Xavier : *Optimisation de la prise d'empreinte : étude des différents matériaux et des différentes méthodologies, Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat d'Audioprothésiste, Université de Lorraine, Faculté de Pharmacie, 2012.*
- <https://natus.com/fr-fr/produits-et-services/otoscan>



Acoustique  
**wernert**  
solutions auditives

AUDIOPROTHÉSISTES

## Rejoignez une équipe centrée sur l'humain.

Acoustique Wernert, c'est la garantie de pouvoir exercer son métier à son rythme, avec les fournisseurs de son choix. Une liberté inégalée, avec le patient au cœur de nos préoccupations.

- Formation continue
- Matériel de pointe
- Bon relationnel prescripteurs
- Indépendant depuis 1984
- Parcours d'intégration
- Rémunération attractive
- Management collaboratif

POUR POSTULER

Tél. 04 77 37 30 65  
[christine@acoustique-wernert.com](mailto:christine@acoustique-wernert.com)

**18 labos**  
en région  
Auvergne  
Rhône-Alpes

## ÉCOUTER VOIR RECRUTE

NOUS RECHERCHONS ACTUELLEMENT  
DES **AUDIOPROTHÉSISTES** POUR NOS CENTRES DE



**Montélimar (26), Romans sur Isère (26),  
Tain l'Hermitage (26)**

Pour en savoir plus sur le réseau Écouter Voir,  
rendez-vous sur [www.ecoutervoir.fr](http://www.ecoutervoir.fr)

Postuler en ligne sur <https://recrutement.aesio-sante.fr/>

 REJOIGNEZ-NOUS ET PARTAGEONS LES MÊMES VALEURS !



### Auteur

**Nicolas WALLAERT**<sup>1, 2, 3</sup>

Audioprothésiste D.E.,  
Ingénieur,  
Docteur en Sciences  
Cognitives,  
Membre du Collège National  
d'Audioprothèse

**Hadrien JEAN**<sup>1</sup>

Data scientist,  
Machine learning scientist,  
Docteur en Sciences  
Cognitives

**Nihad PARAOUTY**<sup>1</sup>

Translational auditory scientist,  
Docteur en Sciences  
Cognitives

1. iAudiogram – Audiométrie automatisée par Intelligence Artificielle, France
2. Collège National d'Audioprothèse, France
3. Faculté de Médecine de Rennes 1, France

## ETUDES DE CAS : PRISE EN CHARGE FUTURE DU PATIENT MALENTENDANT DANS UN CABINET D'AUDIOPROTHÈSE

L'avènement du 100% Santé a permis à de nombreux patients de s'équiper d'aides auditives (1,7 millions d'aides auditives vendues en 2022, contre 0,9 millions en 2020<sup>1</sup>), et le taux d'appareillage a nettement progressé. Malgré une augmentation croissante de la démographie des audioprothésistes (4125 à 4736 audioprothésistes entre 2020 et 2022<sup>2</sup>), le nombre d'appareils adaptés par audioprothésiste a en conséquence très fortement augmenté (passage de 223 à 387 appareils adaptés en moyenne par an et par audioprothésiste). En conséquence, chacun des audioprothésistes constate une augmentation de la file active des patients qu'il doit suivre. De façon à accueillir ces patients surnuméraires, les audioprothésistes s'organisent pour satisfaire aux attentes des patients et répondre à cet enjeu de santé publique. D'après l'étude Eurotrack, le taux de satisfaction des patients vis-à-vis de l'appareillage auditif continue de progresser (82% des patients appareillés se disent désormais satisfait de leurs aides auditives<sup>3</sup>).

Si l'activité devrait continuer d'augmenter d'ici 2027 de façon modérée (projection de +2%/an<sup>4</sup>), le principal défi qui attend les audioprothésistes reste à venir : maintenir cette qualité de suivi dans le temps pour l'ensemble des patients appareillés.

Dans la première partie de cet article, les différents enjeux que les audioprothésistes devront relever dans les prochaines années sont présentés, en s'appuyant sur un grand nombre de data obtenues en moyennant les données de plusieurs centaines d'audioprothésistes. Dans la seconde partie, différentes solutions seront abordées à travers des études de cas sur différents types de RDV pour réfléchir à l'organisation que pourrait avoir un cabinet d'audioprothèse dans le futur. Des solutions concrètes sont proposées, parmi lesquelles l'intelligence artificielle pourrait jouer un rôle majeur, pour tenter de répondre à ces enjeux tout en améliorant la qualité de la prise en charge audiologique.

**Mots clés :** AUDIOLOGIE, AUDIOMÉTRIE, INTELLIGENCE ARTIFICIELLE, 100% SANTÉ

**I. PRINCIPAUX ENJEUX À RELEVER DANS LE MONDE DE L'AUDIOLOGIE FRANÇAISE**

**1. Difficulté d'accès à la prescription médicale:**

**1.1. Démographie ORL :** Les ORL sont les principaux prescripteurs d'aides auditives (65% du total des prescriptions en 2021, en baisse de 5% par rapport à 2018). La démographie ORL devraient diminuer d'ici à 2030 (passage de près de 3000 à moins de 2500 praticiens<sup>5</sup>). Bien que garante de l'aspect médical de notre profession, certains audioprothésistes perçoivent l'augmentation des délais pour obtenir un RDV chez l'ORL induits par la primo prescription par l'ORL comme un frein à l'appareillage qui pourrait s'accroître dans les prochaines années.

**1.2 Répartition inhomogène des médecins sur le territoire national :** certaines zones géographiques voient leurs offres de services s'amoinrir, ce qui s'accompagne généralement d'une diminution de la dotation médicale. Le maillage des audioprothésistes, plus dense que celui des ORL en raison de leur nombre plus important, conduit dans certaines zones à des difficultés d'accès à une expertise otologique médicale, chez des patients parfois difficilement mobilisables. L'accès à une prescription de spécialiste peut parfois sembler contraint.

**2. Des pertes de temps audiologiques très conséquentes :**

**2.1 RDV non honorés :** Ce fléau, en forte augmentation sur les dernières années, n'impacte pas seulement les audioprothésistes : 6 à 10% des patients ne se présentent pas à leur rendez-vous médicaux d'après l'Académie nationale de médecine et l'Ordre des médecins<sup>6</sup>. En audioprothèse, le taux moyen en France de RDV honoré est de 86,9%. En conséquence, près de 13% des créneaux sont bloqués

inutilement pour un patient qui ne vient finalement pas à son RDV, malgré la mise en place de rappels automatisés (SMS, mails) de façon quasi systématique. Par audioprothésiste, cela revient à perdre l'équivalent de 6 semaines par an.

**2.2 RDV pour dépistage auditif :** De nombreux patients prennent RDV directement chez l'audioprothésiste pour effectuer un test d'audition. Au niveau national, seul 61% des patients venant consulter pour un test auditif reviennent ensuite avec une prescription d'appareillage auditif. En termes de temps, l'audioprothésiste consacre près de 4 semaines par an pour effectuer des tests auditifs chez des patients qu'il n'appareillera pas (perdus de vue, hors des critères d'appareillage, ...).

**2.3 Perte de patients en raison de délais de RDV trop importants :** Le délai moyen pour obtenir un RDV chez l'audioprothésiste était de 23 jours en France en 2022. Ce délai, jugé parfois comme trop long, peut aboutir à une renonciation à prendre RDV ou à un changement d'audioprothésiste.

**2.4 De la prescription à l'essai :** Un certain nombre de rendez-vous avec des patients venant consulter avec une prescription d'appareillage auditif ne débouche pas sur le démarrage d'un essai pour l'audioprothésiste (patient hors des critères d'appareillage, passage à la concurrence, patient non décidé, difficultés d'accès...). Si ce pourcentage est très variable d'un audioprothésiste à l'autre, parfois en raison de spécificités locales, environ 85% des RDV avec prescriptions aboutissent au démarrage d'un essai. Annuellement, les 15% restant représentent environ 1 semaine de temps perdu par an et par audioprothésiste.

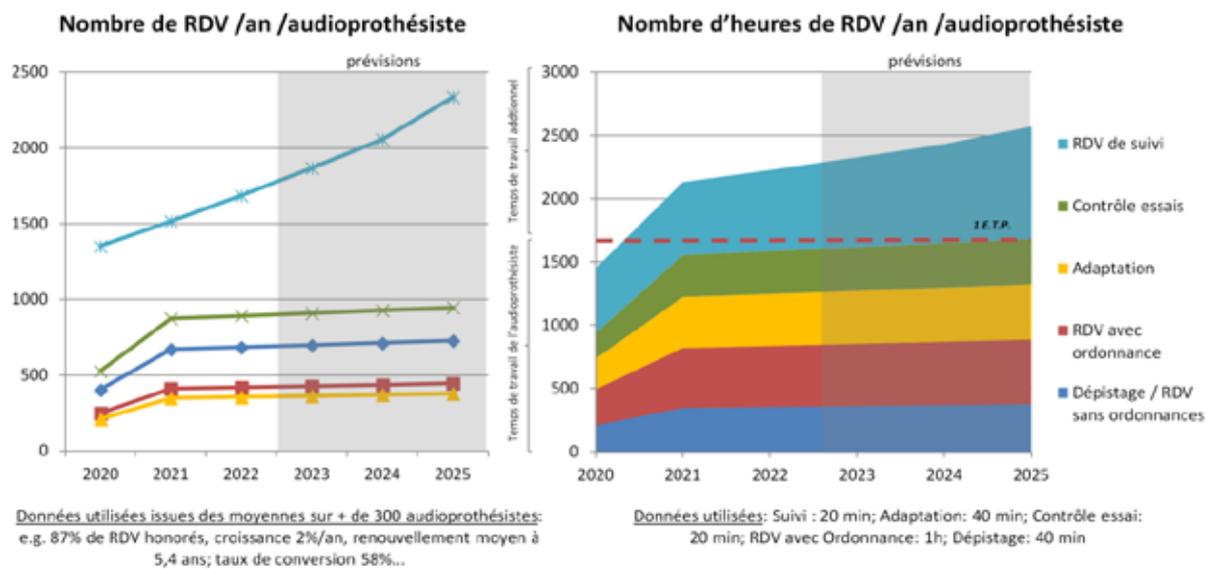


Figure 1 : Nombre de RDV devant être réalisés par un audioprothésiste annuellement, pour lui permettre de répondre à la demande induite par le 100% Santé. Les prévisions sont réalisées en se basant sur des données réelles moyennes observées sur plusieurs centaines d'audioprothésistes.

A. Si l'activité induite par les nouveaux patients a fortement augmentée depuis 2021, le nombre de RDV à réaliser par les audioprothésistes va augmenter de façon très significative mathématiquement pour atteindre un pic en 2025, en raison de la forte augmentation du nombre de RDV de contrôle prothétique à réaliser. B. En termes d'équivalent temps plein, l'activité actuelle dépasse l'activité réalisable par un audioprothésiste seul. La délégation de tâche, dont le cadre légal reste flou, et une réorganisation de l'activité semble donc inéluctable.

**2.5 De l'essai à l'adoption des aides auditives** : Au niveau national, le taux de facturation d'aides auditives suite à la réalisation d'un essai est d'environ 58%. Ainsi, près de 40% des aides auditives initialement prévues ne sont pas adoptées par les patients. En termes de temps, l'audioprothésiste consacre près de 4 semaines par an de son temps pour effectuer des essais prothétiques avec une solution auditive qui ne sera pas finalement retenue par le patient.

Pris ensemble, le temps de travail réellement « productif » sur le plan financier par audioprothésiste (si on retranche toutes ces pertes d'efficacité et les congés payés) est de 7 mois par an.

### 3. Un suivi audiologique des patients indispensables...

**3.1 La difficile équation de l'agenda** : Les agendas des audioprothésistes sont désormais fort bien remplis (saturation moyenne supérieure à 85%). Cette tendance devrait fortement croître dans les prochaines années, notamment en raison du nécessaire suivi des patients appareillés entrant désormais dans la file active. Des réorganisations d'agenda, ou des « restructurations internes » ont été réalisées par certains pour compenser ce surplus d'activité. Toutefois, un défi futur majeur restera à résoudre : maintenir dans le temps le haut niveau de service et de suivi que les audioprothésistes français ont toujours proposés à leurs patients. Le nombre de rendez-vous de contrôle d'appareillage devrait encore augmenter de près de 40% sur les 3 prochaines années, sans pour autant que le reste de l'activité diminue. Ce point constitue un réel challenge à relever pour continuer à maintenir la qualité du suivi audioprothétique.

**3.2 Formation des équipes** : Pour répondre à l'accroissement de la demande, de nombreuses embauches ont été réalisées (augmentation du nombre d'audioprothésistes, apparition « d'assistant(e)s techniques », ...). Toutefois, cette intégration de forces vives nouvelles nécessite un effort de formation conséquent. Elle pourrait également être source de difficultés financières qu'en cas d'éventuel retournement de marché (OTC, refonte du 100% Santé) de part l'accroissement substantiel de la masse salariale difficilement réversible.

## II. ELÉMENTS DE RÉFLEXIONS ET SOLUTIONS TECHNIQUES PROPOSÉES :

**II.1. Difficulté d'accès à la prescription médicale** : Les audioprothésistes constatent des augmentations dans les délais d'obtention d'un rendez-vous chez l'ORL depuis l'instauration de la primo-prescription par le médecin ORL (seuls 18% des patients attendaient plus de 2 mois en 2018 versus 61% des patients en novembre 2022<sup>8</sup>). Par ailleurs, certains constatent des difficultés d'accès à la prescription dans des « déserts médicaux » et le SNITEM note un ralentissement des ventes d'aide auditives (-9,1% en volume comparativement à 2022, ce qui correspond toutefois à +65% comparativement à 2020<sup>9</sup>) Cette donnée, si elle peut sembler inquiétante en terme de santé publique, est toutefois à nuancer et peut être contrecarrée au regard des trois points suivants :

- i) la plus grande perte de temps survient non pas au niveau de la prise en charge ORL, mais bien en amont (dépistage et acceptation de la surdité pouvant durer plusieurs années). L'audioprothésiste a assurément un rôle à jouer pour diminuer ce délai de prise en charge.
- ii) la prise en charge des surdités relevant de l'appareillage ne constitue, dans l'immense majorité des cas, en rien une urgence thérapeutique

iii) 30% des patients ayant reçu une ordonnance en 2021 pour des aides auditives ne sont pas appareillés (soit 1,3 millions de personnes d'après Eurotrack<sup>10</sup>). En termes d'activité, ces prescriptions représentent plus de 9 mois d'activité à temps complet pour l'ensemble des audioprothésistes français. Le délai ORL étant rarement supérieur à 6 mois, les ORL ont semble-t-il pris de l'avance.

**1. Améliorer le dépistage précoce des troubles auditifs** : Une réflexion doit donc être menée pour améliorer le dépistage des troubles auditifs de façon large par les ORL et les audioprothésistes. Ce dépistage doit pouvoir être accessible facilement et de façon large, sans pour autant faire l'objet d'une monétisation directe ou indirecte : l'apparition de sociétés génératrices de leads qui revendent les données des patients semble inquiétante, eu égard à une éthique douteuse, une conformité législative bancaire et un coût totalement indécent, parfois proche du millier d'euros, supporté au final par le patient ou la société.

Différentes solutions peuvent être mises en place par les audioprothésistes :

Proposer un dépistage sans RDV dans leurs centres, en s'appuyant sur des solutions gratuites dont l'efficacité et la fiabilité a été prouvée scientifiquement<sup>11</sup> et encouragé par le Ministère de la Santé et de la Prévention<sup>12</sup> : e.g., Application Hora, proposée par la Fondation pour l'Audition, Hein Test proposé en ligne par l'Association France Presbycusie. Le matériel de test peut être laissé à disposition en salle d'attente et le patient peut être aidé dans la passation du test au besoin par un(e) assistant(e) du centre. Si ces tests de dépistage ne permettent pas de réaliser un bilan auditif complet, ils présentent l'avantage d'effectuer un premier repérage permettant de faire ressortir les patients les plus à risque, à convoquer et ré adresser en priorité.

Parmi les solutions payantes, on notera qu'il est également possible de réaliser des bilans auditifs de dépistage (tonale ou vocale en listes fermées) automatiquement sur différentes plateformes (Koalys & Shoebox, HearX,...). Ces solutions, si elles permettent d'obtenir une information additionnelle intéressante, ne permettent malheureusement pas de réaliser l'intégralité du bilan audiométrique. Un re-test par l'audioprothésiste a posteriori s'avère nécessaire. Dans les prochains mois, l'arrivée de l'intelligence artificielle en audiométrie (iAudiogram) lèvera cette problématique<sup>13,14</sup>. L'audioprothésiste pourra alors obtenir l'intégralité des données audiologiques et audiométriques requises préalablement à sa consultation. Les audiométries tonale, vocale et vocale dans le bruit à visée diagnostique seront réalisées automatiquement grâce à l'intelligence artificielle.

**L'utilisation immédiate de ses logiciels et applications à grande échelle, permettra d'identifier plus précocement les patients présentant une perte auditive, et de réduire fortement les délais de prise en charge de plusieurs mois, annulant ainsi indirectement le délai actuellement observé pour obtenir un RDV chez un médecin ORL**

### 2. Travail aidé, téléaudiologie :

L'ORL réalise lui-même jusqu'à présent une partie très significative des actes chronophages en lien avec l'audiologie, i.e. les audiométries. La réalisation d'un bilan otologique médical complet, préalablement à la réalisation d'un

appareillage auditif, est indispensable pour garantir une prise en charge de qualité.

**Travail aidé :** Les « ORL sont [...] beaucoup moins avancés » sur la question du travail aidé, rapportait Louis-Charles Viossat dans son rapport de l'IGAS<sup>15</sup>. Cela s'explique d'après lui par une double problématique:

- « d'abord parce qu'ils sont moins allants que les ophtalmologistes sur ce sujet, ... »
- « aussi parce qu'il faut trouver les professionnels pour le faire. Les orthoptistes ont accepté un changement assez radical de leur profession. En ORL, c'est plus compliqué parce qu'il n'y a pas de candidats naturels »

Dans les prochains mois, ces problématiques pourraient être caduques en otologie, en raison de l'arrivée de l'intelligence artificielle en audiométrie. Ainsi, les bilans audiométriques des patients pourront être réalisés automatiquement par l'IA, permettant au praticien ORL de poursuivre ses consultations habituelles en parallèle de la réalisation d'une audiométrie. En termes de capacité d'accueil, chaque ORL pourra accueillir s'il le souhaite environ 1 patient supplémentaire toutes les 30 min pour un bilan audiométrique. L'implémentation en pratique clinique pour l'ORL est aisée (pas d'embauche, pas de formation de personnel, masse salariale identique), et incitative financièrement (augmentation de l'activité et de l'efficacité).

**En considérant qu'un ORL consulte 2,5 jours/semaine, 44 semaines par an, cela représente une capacité d'accueil minimale additionnelle de 5,1 millions d'audiométries/an si les ORL adoptent massivement iAudiogram. Cette capacité d'accueil est qui plus est décorrélée des délais d'obtention de RDV habituels, car ces RDV pour bilans auditifs peuvent être rajoutés en surnombre, dans des délais beaucoup plus courts. L'augmentation des délais d'obtention d'un RDV ORL en audiologie pourrait ne plus être un problème dans quelques mois.**

**Téléaudiologie :** L'usage de la téléaudiologie de façon synchrone, s'il semble être une piste d'étude, ne suscitera probablement pas une grande adhésion de la part des praticiens, notamment des ORL. En effet, la réalisation d'une télé-audiométrie de façon synchrone (praticien et patient connecté simultanément pour la réalisation du bilan audiométrique à distance) est encore plus chronophage qu'une réalisation en présentielle. Elle monopolise qui plus est un opérateur sur place, au chevet du patient.

Une solution pourrait-être la réalisation d'une téléaudiologie de façon asynchrone (fréquemment appelée télé-expertise, le



## Mathias LEGRAND : AU SERVICE DES AUDIOPROTHÉSISTES

Fabricant d'embouts auditifs sur mesure et de protections auditives depuis 1945, Styl'embouts met à votre disposition une gamme complète de matériels et de fournitures.



**Toute notre production est réalisée en 3d :**

- Une **précision inégalée**
- **Mémorisation** de vos empreintes
- Une **matière totalement neutre** (antiallergique)
- Une manière que vous pouvez **retoucher et polir** très facilement



**STYL'EMBOUTS**

16 Cours du 14 juillet - BP 50005 - 33210 LANGON  
Tél : 05 57 36 28 12 - Mail : [contact@stylembouts.com](mailto:contact@stylembouts.com)  
[www.stylembouts.com](http://www.stylembouts.com)

FABRICATION  
100% FRANÇAISE



LABORATOIRE CERTIFIÉ  
DM 2017/745



praticien expertisant a posteriori les données médicales d'un patient). Si cette télé-expertise est autorisée légalement, de nombreuses problématiques réglementaires, législatives et éthiques restent en suspens, ce qui rend sa mise en place impossible dans l'immédiat :

- i) la télé-expertise entre un paramédical (e.g. audioprothésiste) et un médecin (ORL) est autorisée depuis avril 2022<sup>16</sup>, mais ne peut donner lieu à une cotation auprès de l'Assurance Maladie. Le médecin devrait donc réaliser la télé-expertise gratuitement ! Les candidats risquent d'être peu nombreux et la rémunération ou compensation financière directe ou indirecte de l'ORL par l'audioprothésiste pour l'établissement d'une ordonnance pose évidemment problème !
- ii) dans la mesure où l'examen est réalisé préalablement à la télé-expertise, le bilan audiométrique doit être réalisé par une personne tierce (e.g. audioprothésiste). Deux problématiques :
  - la délégation de tâche en ORL n'est pas encore pleinement autorisée ;
  - éthiquement, l'audioprothésiste réalise alors lui-même le bilan audiométrique qui lui permettra d'obtenir une prescription médicale. Comme le souligne l'IGAS<sup>17</sup>, cette délégation de tâche n'est éthiquement pas recommandable, en raison du conflit d'intérêt évident et de la perte de liberté de choix de l'audioprothésiste par le patient.
- iii) aucune plateforme ou système d'audiométrie, répondant aux exigences législatives (marquage CE Classe IIa obligatoire<sup>18</sup>) ne permet, à ce jour, de réaliser une telle télé-expertise asynchrone actuellement.

### 3. Déserts médicaux - favoriser l'interaction entre les professionnels de santé

Une modification du parcours de soins, impliquant l'ensemble des acteurs (médecin ORL, médecin généraliste (MG), audioprothésistes) pourrait probablement être une solution directement implémentable pour permettre la prise en charge du patient malentendants dans les déserts médicaux. A l'heure actuelle, le fameux protocole go/no-go établi par la SFA ne

permet pas aujourd'hui aux MG de déroger à leur obligation de formation à l'otologie médicale. Par ailleurs, les MG ne disposent généralement pas du matériel nécessaire pour la passation des bilans audiométriques.

Solutions pouvant être mises en place sans surcoût comparativement au statut quo :

Dans les prochains mois, des bilans audiométriques complets pourront être réalisés automatiquement avec l'aide d'une IA. Les deux problèmes susnommés pour la réalisation du bilan audiométrique chez l'audioprothésiste (délégation de tâche et conflit d'intérêt de l'audioprothésiste) ne se posent alors plus, l'examen étant alors simplement réalisé avec le matériel de l'audioprothésiste (certifié et contrôlé annuellement par un organisme tiers), mais par une IA. Le bilan audiométrique obtenu par IA (dont la reproductibilité dépasse celle obtenue manuellement, cf. figure 2<sup>19</sup>) peut être utilisable par un médecin généraliste formé à l'otologie médicale ou par un ORL.

Deux possibilités s'ouvrent ensuite :

- le médecin généraliste a bénéficié de la formation en otologie médicale : le compte audiométrique ainsi que l'intégralité des informations cliniques (vidéo-otoscopie, bilan neurocognitif, anamnèse ...) lui sont transmis par un service de messagerie cryptée et sécurisée (eg. Apcript, Lifen, ...). Le médecin traitant du patient remet si nécessaire à son patient directement la prescription pour appareillage lors de la prochaine consultation.
- le médecin généraliste n'a pas bénéficié de la formation en otologie médicale : il reçoit le dossier audiolgique de son patient par messagerie sécurisée. Il peut ensuite requérir une télé-expertise auprès de son ORL local, correspondant habituel. La télé-expertise est alors cotée par les deux médecins (MG et ORL). L'ORL adresse, si nécessaire, l'ordonnance d'appareillage au médecin généraliste qui la délivrera à son patient lors de sa consultation.

Un tel parcours patient a pu être expérimenté à petite échelle dans le cadre de la validation clinique d'iAudiogram<sup>20</sup>. En effet, en parallèle de l'étude scientifique (autorisée par CPP) évaluant la fiabilité (concordance entre l'audiométrie manuelle et

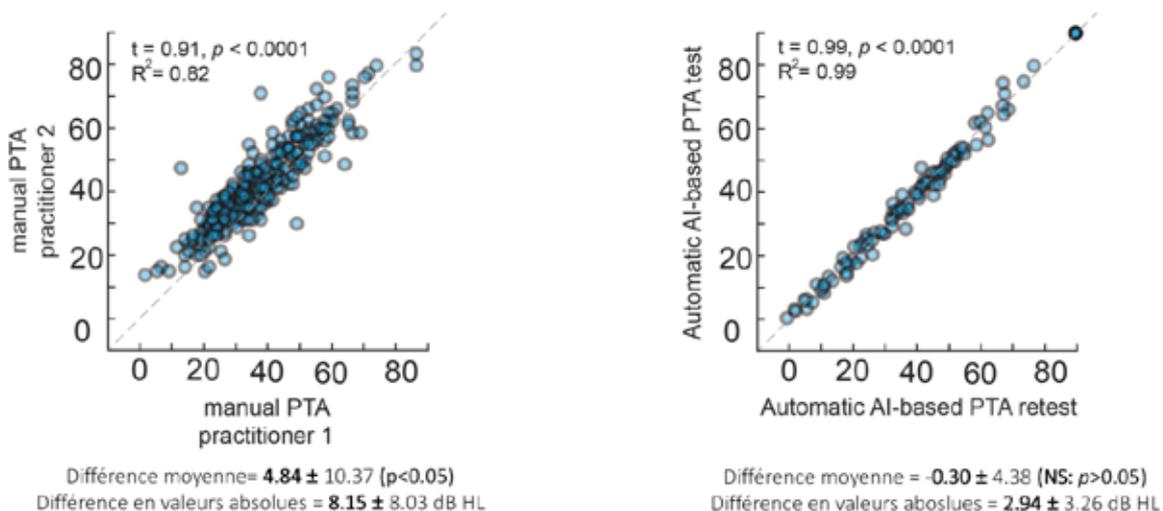


Figure 2 : Comparaison entre la reproductibilité de la perte audiométrique moyenne tonale mesurée manuellement par deux praticiens différents (A) et par l'intelligence artificielle d'iAudiogram (B). A. Lorsque la perte est mesurée manuellement, la variabilité entre les deux pertes moyennes obtenues est de 4,84 dB +/- 10,37 dB et seulement 82% de la variance est expliquée. B. L'utilisation de l'Intelligence artificielle permet de réduire l'imprécision de mesure audiométrique. La différence moyenne est alors de -0,3 +/- 4,38 dB, avec 99% de la variance expliquée.

l'audiométrie automatisée par IA), la répétabilité (similarité des résultats de deux audiométries réalisées par IA sur le même patient dans les mêmes conditions), et la reproductibilité (similarité des résultats de deux audiométries réalisées par IA sur le même patient dans des conditions expérimentales différentes) de l'audiométrie automatisée par IA, les patients qui le souhaitent ont pu bénéficier de cette télé-expertise asynchrone.

Dans ce cadre expérimental, les données audiologiques du patient suivantes étaient envoyées au Médecin : Tonale (CA et CO) manuelle sur audiomètre certifié CE Classe IIa, Vocale ans le silence et dans le bruit manuelle sur audiomètre certifié CE Classe IIa, anamnèse automatisée\*, vidéo-otoscopie des deux oreilles\*, Weber\*, Audiométrie tonale (CA et CO) automatisée par IA\*, vocale dans le silence et dans le bruit automatisée par IA\*, bilan cognitif (MMSE<sup>21</sup> ou CODEX) si nécessaire\*. A terme, seuls les éléments présentant une étoile seront requis.

Dans la majorité des cas, la télé-expertise aboutissait à la réalisation d'une prescription pour aide auditive (2/3). Dans les cas restants, des demandes complémentaires avant appareillage ou une demande de consultation en présentiel ont été demandées par l'ORL. La réalisation de la télé-expertise est généralement effectuée en moins d'une semaine.

**Ce parcours de soins, impliquant audioprothésiste, MG et ORL, auquel on ajoute de l'intelligence artificielle et de la télé-expertise, permettra de favoriser la collaboration et les interactions entre professionnels de santé, tout en améliorant la qualité de la prise en charge audiolinguistique, partout et pour tous, sans aucun surcoût ni problème éthique. Son implémentation est immédiate, dans la mesure où elle se base sur les réseaux médicaux de proximité, déjà en place.**

## II.2. Des pertes de temps audiologiques très conséquentes :

L'utilisation de l'intelligence artificielle en pratique clinique courante audioprothétique, devrait permettre d'améliorer substantiellement les pertes d'efficacité observées en audiologie et permettre de retrouver une sérénité et un confort de travail pour les audioprothésistes. Les différents points susnommés sont repris, avec la ou les solutions proposées pour chacun.

**2.1 RDV non honorés :** La réduction du taux de RDV non honoré est difficile à réaliser. Le taux observé, plus élevé que pour d'autres spécialités (para)médicales, peut probablement s'expliquer par le fait que la patientèle est assez âgée, maîtrise moins facilement les outils informatiques, que le suivi n'est pas facturé directement, et que ce dernier est « illimité ».

La mise en place de l'audiométrie automatisée par IA permet coté patient de maintenir la durée des RDV, tout en réduisant le temps passé avec l'audioprothésiste, pour une grande partie des RDV. Cette réduction du temps de présence de l'audioprothésiste pour 2/3 des RDV, permet également de réduire de près de 70% le temps audioprothétique perdu à cause de RDV non honorés.

**2.2 RDV pour dépistage auditif :** Les RDV de « dépistage » peuvent être réalisés directement par IA. Des bilans plus complets (anamnèse, vidéo-otoscopie, weber, tonale CA et CO, Vocale silence et bruit, bilan neurocognitif) sont

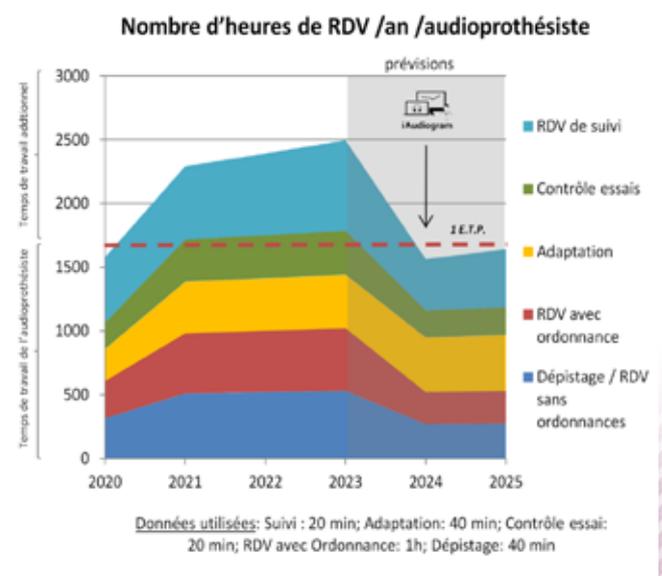
systématiquement réalisés, pour maximiser l'information audiolinguistique obtenue, et améliorer la détection des troubles auditifs. Ces examens, utilisables pleinement pour la prise en charge audioprothétique, n'auront plus besoin d'être refait par l'audioprothésiste. L'audioprothésiste intervient uniquement en fin du RDV pour l'explication des résultats au patient, et sa guidance. La durée de présence de l'audioprothésiste peut-être réduite par deux, tout en augmentant la précision du bilan audiolinguistique réalisé.

**2.3 Perte de patients en raison de délais de RDV trop importants :** La durée pour l'obtention des premiers RDV peut paraître longue. Ces RDV, plus longs, sont donc plus difficiles à intégrer dans l'agenda. Demain, leur durée peut être sensiblement réduite (divisée par 2) grâce à l'usage de l'IA.

Si le patient est venu en présentiel prendre son premier RDV, les tests audiométriques automatisés par IA pourraient être réalisés directement. En fonction de son agenda, l'audioprothésiste peut recevoir le patient dans la foulée ou un autre RDV peut être fixé ultérieurement pour expliquer les résultats au patient et choisir les aides auditives les plus adaptées à ses besoins.

**2.4 De la prescription à l'essai :** Dans la mesure où les données audiométriques sont obtenues préalablement à la consultation avec l'audioprothésiste, les patients en dehors des indications prothétiques peuvent être « exclus » plus précocement du parcours de soin, ce qui minimise le temps audioprothétique qui leur est consacré.

**2.5 De l'essai à l'adoption des aides auditives :** Un essai prothétique nécessite la réalisation d'une grande quantité d'audiométries (gain prothétique tonal, gain prothétique vocal dans le silence ou en environnement bruyant, localisation spatiale, tests de stéréaudiométrie...). Ces tests peuvent être assistés par IA, pour permettre un gain de temps.



**Figure 3 : Simulation du gain de temps audioprothétique induit par l'introduction d'une Intelligence Artificielle pour la réalisation des bilans audiométriques des patients. Le gain de temps sur certaines typologies de RDV est très significatif et permet d'absorber sereinement le surcroît d'activité induit par le 100% Santé.**

**3.1 Le suivi audiologique** : l'IA, solution de l'équation de l'agenda ? Des simulations basées sur les données réelles, qui intègrent les obligations introduites par le 100% Santé, montrent que le temps nécessaire de cabine des audioprothésistes va continuer à croître fortement dans les 3 prochaines années (cf. figure 1). A l'heure actuelle, le temps de travail annuel d'un audioprothésiste (en théorie 1607h/an) ne lui permet pas de réaliser sur son temps de travail l'ensemble des RDV patients. En équivalent temps plein, les projections montrent que d'ici 2026, il faudra 1,7 ETP (4835 RDV/ an en moyenne) pour réaliser l'ensemble des RDV du parcours audioprothétique, là où un audioprothésiste n'était en moyenne pas occupé à plein temps avant le 100% Santé (0,97 ETP et 2782 RDV/an).

L'introduction de l'IA en audiométrie, outre le gain de précision qu'elle peut autoriser (audiométrie continue en fréquence, incertitude audiométrique pouvant descendre en dessous du décibel, réalisation de tests complémentaires car ne monopolisant pas du temps audioprothétique...), permettra concomitamment de réduire le temps de présence consacré par l'audioprothésiste au côté de son patient, tout en préservant ou augmentant le temps accordé à chaque patient et le nombre d'examen réalisés. La figure 3 reprend le nombre d'heures de RDV à réaliser après introduction d'iAudiogram dans la pratique clinique. L'implémentation de l'audiométrie automatisée par IA permet un gain de temps substantiel pour l'audioprothésiste sur certains RDV (dépistage, 1er RDV, contrôle d'essai, suivi prothétique).

Pour finir, sur le plan financier, le coût de l'accroissement d'activité induit dans les centres par le 100% Santé est une problématique à long terme (pic du besoin de temps audioprothétique prévu pour en 2025). Financièrement, là où un audioprothésiste pouvait réaliser son activité seul en 2020, le temps additionnel audioprothétique nécessaire (1,7 ETP soit 60h/semaine) en 2025 est chiffrable dans un cas idéal à un surcoût de plus de 53k€ par.

**L'adoption de l'IA, outre la souplesse et la précision qu'elle autorise (disponibilité immédiate, résolution des problématiques RH, homogénéité de la prise en charge non dépendante de la formation du collaborateur), a un coût respectivement 10x et 4x moins élevé que si le surcoût d'activité était supporté par l'audioprothésiste ou son assistant.**

### III. ORGANISATION DU CABINET D'AUDIOPROTHÈSE DU FUTUR

La mise en place de l'intégralité de ces solutions (Intelligence Artificielle en audiométrie, solutions de dépistage auditif, télé-expertise pour les déserts médicaux...) permettra de faciliter le quotidien de l'audioprothésiste pour lui permettre d'accueillir de nouveaux patients tout en améliorant la qualité de la prise en charge. Pour maximiser le gain d'efficacité, elle suppose dans l'idéal une organisation du laboratoire spécifique, avec plusieurs cabines (cf. Figure 4).



**Figure 4** : Plan 3D d'un laboratoire d'Audioprothèse tel qu'il pourrait être organisé dans le futur. L'audioprothésiste peut recevoir deux patients simultanément dans deux cabines. Pendant que les tests audiométriques sont réalisés par Intelligence artificielle dans l'une des cabines, l'audioprothésiste s'occupe du réglage des aides auditives d'un deuxième patient dans la seconde cabine. Les patients sont installés dans les cabines par l'assistant(e) directement. Une troisième salle, consacrée au dépistage auditif, permet d'accueillir des patients de façon non planifiée (dépistage auditif sans RDV, contrôles non planifiés, Bilan pré-prothétique, ...)

Cette organisation, facilement implémentable et dont le coût est très limité comparativement au statut quo, permet de surcroît de pouvoir proposer de nouveaux services :

- dépistage auditif sans RDV
- contrôle non programmé de l'audition et entretien des aides auditives
- bilan audiométrique réalisable dès la prise de RDV pour un nouveau patient
- contrôle non programmé de l'efficacité prothétique

### RÉFÉRENCES

- 1. Données SNITEM – Pôle Audiologie 2022
- 2. Rapport 2022 - Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques (Drees)
- 3. EuroTrak France 2022 - EHIMA - <https://www.ehima.com/wp-content/uploads/2022/06/EuroTrak-France-2022.pdf>
- 4. Bardet S. (2023, Mar) - Modélisation et vision du marché de l'audioprothèse français des 5 prochaines années. Congrès des Audioprothésistes, Paris, Mars 26, 2023 Conférence.
- 5. Rapport 2021 - Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques (Drees)
- 6. Rendez-vous médicaux non honorés. (2023, 26 janvier). Conseil National de l'Ordre des Médecins. <https://www.conseil-national.medecin.fr/publications/communiqués-presse/rendez-medicaux-honores>
- 7. Taux de RDV honorés moyen, observé sur plus de 400 audioprothésistes français
- 8. Communiqué de presse du 9 mars 2023 - Syndicat des audioprothésistes - Primo-prescription : l'accès au 100 % santé audiologie en péril !

- 9. Communiqué du 3 avril 2023 – SNITEM Groupe Audiologie
- 10. EuroTrak France 2022 - EHIMA - <https://www.ehima.com/wp-content/uploads/2022/06/EuroTrak-France-2022.pdf>
- 11. De Sousa KC, Swanepoel W, Moore DR, Myburgh HC, Smits C. Improving Sensitivity of the Digits-In-Noise Test Using Antiphase Stimuli. *Ear Hear.* 2020 Mar/Apr;41(2):442-450.
- 12. Repérage et prise en charge de la presbycusie – Ministère de la Santé et de la Prévention. (2022, 12 décembre). Ministère de la Santé et de la Prévention. <https://sante.gouv.fr/prevention-en-sante/preserver-sa-sante/article/reperage-et-prise-en-charge-de-la-presbycusie>
- 13. Wallaert N., Jean H., Paraouty N. (2023) Audiométrie tonale automatisée par Intelligence Artificielle : principe de fonctionnement d'iAudiogram – N°8, ORL Magazine – Fév 2023
- 14. Wallaert N., Jean H., Paraouty N. (2022) Audiométrie tonale automatisée: en quoi l'Intelligence Artificielle pourrait-elle bien la révolutionner ? N°7, ORL Magazine – Oct 2022
- 15. Évaluation de la filière auditive, rapport 2021-206 conjoint avec l'IGAS, décembre 2021. (s. d.). enseignementsup-recherche.gouv.fr. <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/evaluation-de-la-filiere-auditive-rapport-2021-206-conjoint-avec-l-igas-decembre-2021-83197>
- 16. Avenant 9 : les mesures applicables depuis le 1er avril. (s. d.). ameli.fr | Médecin. [https://www.ameli.fr/medecin/actualites/avenant-9-les-](https://www.ameli.fr/medecin/actualites/avenant-9-les-mesures-applicables-depuis-le-1er-avril#:~:text=Plusieurs%20mesures%20pr%C3%A9vues%20par%20l,forfait%20structure%2C%20simplification%20de%20la)

- [mesures-applicables-depuis-le-1er-avril#:~:text=Plusieurs%20mesures%20pr%C3%A9vues%20par%20l,forfait%20structure%2C%20simplification%20de%20la](https://www.ameli.fr/medecin/actualites/avenant-9-les-mesures-applicables-depuis-le-1er-avril#:~:text=Plusieurs%20mesures%20pr%C3%A9vues%20par%20l,forfait%20structure%2C%20simplification%20de%20la)
- 17. Évaluation de la filière auditive, rapport 2021-206 conjoint avec l'IGAS, décembre 2021. (s. d.). enseignementsup-recherche.gouv.fr. <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/evaluation-de-la-filiere-auditive-rapport-2021-206-conjoint-avec-l-igas-decembre-2021-83197>
- 18. EUR-Lex - 32017R0745 - EN - EUR-Lex. Annexe VIII du règlement UE 2017/745 (MDR). (s. d.). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32017R0745>
- 19. Seidermann L., Wallaert N., Kossowski M., Schmoll L. (2022, Oct) - Le bilan d'audition dans le cabinet du futur ; de la délégation de tâche à l'intelligence artificielle, désir ou réalité ? Congrès de la SFORL - Marseille, Octobre 14, Conférence.
- 20. Wallaert N., Perry A., Quarino S., Jean H., Creff G., Godey B., Paraouty N. (2023) iAudiogram®: automated functional auditory exploration for air- and bone-conduction audiometry - in submission
- 21. Creavin, S. T., Wisniewski, S., Noel Storr, A. H., Trevelyan, C. M., Hampton, T., Rayment, D., ... & Cullum, S. (2016). Mini-Mental State Examination (MMSE) for the detection of dementia in clinically unevaluated people aged 65 and over in community and primary care populations. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (1).

# La solution en réponse à vos besoins

## Une offre adaptée à vos pratiques quotidiennes

Diatec, la Division Diagnostic de Prodition, a pour vocation de répondre aux besoins quotidiens des professionnels de l'audition. Des gammes complètes de solutions sont proposées, conçues en collaboration avec des professionnels du monde entier, engagés et passionnés.

Notre engagement : fournir les solutions et services qui facilitent le quotidien de tous.



**Audiologie**  
Tympanométrie  
Acouphénométrie



**PEA - OEA**  
ASSR  
VEMP



**Explorations vestibulaires**



**Consommable**  
compatible toutes marques

Veuillez nous contacter pour connaître la liste des équipements référencés UniHA



## INDICATION D'IMPLANTATION COCHLÉAIRE EN CAS DE SURDITÉ PROFONDE ASSOCIÉE À UNE OTITE PERSISTANTE



### Auteurs

Pr. Natalie LOUNDON  
Service ORL  
Hôpital Necker-Enfants Malades  
149 rue de Sèvres - 75015 Paris

Arnaud COEZ  
Audioprothésiste  
Audition Santé,  
Laboratoire de correction  
auditive Bizaguet, 75001 Paris

S est né en janvier 2005. Il est adressé au laboratoire en mai 2006, pour appareillage d'une surdité profonde bilatérale, après un bilan en milieu hospitalier, qui comprenait une audiométrie comportementale et des PEA absents à 100 dB. Suite à de nombreuses otites, des aérateurs transtympaniques sont en place, ne permettant plus la réalisation de la tympanométrie et de réflexes stapédiens. On note à gauche une otorrhée persistante sur ATT.

Un appareillage pour surdité profonde est débuté. Les aérateurs transtympaniques en place gênent la prise d'empreinte. Les embouts réalisés sont aussi longs que le permettent les aérateurs. Le coton lors du retrait de l'empreinte à gauche est humide.

L'audiométrie est réalisée aux inserts, confirmant le caractère profond de la perte d'audition quand l'audition est mesurée par voie aérienne. L'audiométrie en conduction osseuse ne permet pas de recueillir de réactions fiables. Des contours d'oreille surpuissants sont adaptés et le gain augmenté progressivement (Figure 1).

Pour un réglage équivalent à droite et à gauche des appareils auditifs permettent des réactions nettes à droite aux alentours de 55 dB HL et des réactions moins franches à gauche. L'oreille gauche continue de 'couler'. Le gain acoustique étant très important, des embouts sans événements s'imposent. Face à des épisodes douloureux à gauche et des écoulements l'appareil gauche est porté de façon plus sporadique qu'à droite.

Lorsque S a 19 mois, le médecin O.R.L. évoque avec la famille la possibilité d'une implantation cochléaire. Il est décidé de surveiller l'évolution perceptive et linguistique pour encore quelques mois. Cette période sera l'occasion de vérifier les acquisitions de S et les limites potentielles rencontrées avec

l'appareillage auditif. Le bilan comprend une IRM, un bilan vestibulaire, un bilan ophtalmique et une échographie rénale. A l'interrogatoire sont notés quelques antécédents rénaux du côté maternel.

En octobre 2006, les réactions avec prothèses sont nettes de 250 Hz à 1kHz aux alentours de 45 dB HL, avec des réactions à voix forte. Les aigus semblent perçus à droite à des niveaux élevés mais pas à gauche.

Les examens radiologiques s'avèrent normaux, par contre il existe une asymétrie vestibulaire droite/gauche avec une hyporéflexie droite. Le bilan ophtalmologique a révélé un daltonisme.

L'audition semble s'être stabilisée avec une prothèse auditive droite qui permet de mesurer des seuils à 45 dB HL jusqu'à 1 kHz et 70 dans les aigus alors que côté gauche, l'otorrhée est persistante, et la mesure des seuils difficilement reproductible. Une alerte et une orientation se sont développées ainsi qu'un babillage.

Après quelques mois et devant l'évolution linguistique limitée, une implantation unilatérale droite est décidée, cohérente avec la présence d'une hyporéflexie droite, et d'une otorrhée persistante gauche.



Figure 1: Réglage initial de deux contours d'oreille surpuissants Siemens Artis SP ® pour appareiller une surdité profonde.

Informations sur la MAP en option

Maxima	10
Table de fréquences	22
JRter	0%
Canaux alarme	7 et 14
Croissance en sonie	20
T-SPL	25 dB SPL
C-SPL	65 dB SPL
Utilisation du réglage de puissance manuel	Non
Réglage de puissance calculé	60 %

Informations sur le canal

Número du canal	Electrode active	Mode de stimulation	Seuil	Confort	Dynamique électrique	Mesures objectives	Largeur d'impulsion	Gain	Fréquence inférieure	Fréquence supérieure
22	22	MP1+2	151	187	36	-	12	0	188	313
21	21	MP1+2	149	188	39	-	12	0	313	438
20	20	MP1+2	149	189	40	-	12	0	438	563
19	19	MP1+2	150	189	39	-	12	0	563	688
18	18	MP1+2	151	191	40	-	12	0	688	813
17	17	MP1+2	151	191	40	-	12	0	813	938
16	16	MP1+2	152	191	39	-	12	0	938	1063
15	15	MP1+2	153	191	38	-	12	0	1063	1188
14	14	MP1+2	155	194	39	-	12	0	1188	1313
13	13	MP1+2	155	196	41	-	12	0	1313	1563
12	12	MP1+2	154	196	42	-	12	0	1563	1813
11	11	MP1+2	154	194	40	-	12	0	1813	2063
10	10	MP1+2	156	198	42	-	12	0	2063	2313
9	9	MP1+2	158	198	40	-	12	0	2313	2688

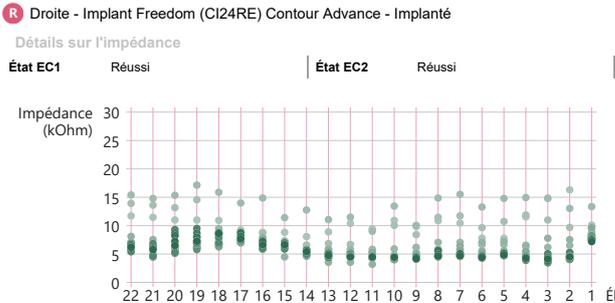


Figure 2 : A. Réglage processeur droit, B. Evolution de la valeur d'impédance de chaque électrode au cours du temps (en vert foncé, la valeur la plus récente).

Les réglages sont réalisés au cours de différentes séances. En 2 mois, le réglage optimal est trouvé (Figure 2A). Il sera modifié au cours du temps pour tenir compte entre autre de la valeur des impédances qui se modifie (Figure 2B).

En décembre 2007 l'examen O.R.L. n'est toujours pas normal à gauche avec une otorrhée persistante. S est en crèche, il est capable de comprendre des phrases simples. En novembre 2008, la tympanométrie gauche est normale, les tympans sont normalisés. Le contrôle audiométrique confirme la surdité sévère à droite et moyenne à gauche, de perception.

En novembre 2008, la tympanométrie gauche est normale. Les otorrhées ont disparu. La perte d'audition à gauche se révèle être moyenne deuxième degré. Les seuils mesurés en audiométrie tonale en conduction osseuse sont ceux mesurés par voie aérienne. Le réglage de la prothèse auditive a été revu. La mesure des seuils avec prothèse gauche à moins de 30 dB HL sur l'ensemble des fréquences (Figure 3).

En 2019, S a des seuils inchangés et il a pu bénéficier d'un appareillage gauche de type RIC avec un écouteur monté dans un embout sur mesure. Afin d'assurer la compatibilité avec son implant cochléaire de la marque COCHLEAR® a été utilisée une prothèse auditive RESOUND RE 961®. Après une synchronisation des deux dispositifs à l'hôpital, par le logiciel Custom sound de COCHLEAR®, S a la possibilité de recevoir le son de son smartphone (iphone®), directement dans ses deux processeurs. Cette fonctionnalité améliore l'acceptation des dispositifs médicaux. La durée de port des appareils en est grandement augmentée. Par ailleurs, l'adjonction d'un microphone déporté, porté par le professeur, l'aide pour son confort d'écoute en classe.

En 2022, S est en 1<sup>ère</sup> en filière technologique, il reste gêné dans les situations bruyantes. Les scores de reconnaissance de mots en liste ouverte à 55 dB avec un SNB + 0dB avec implant+ prothèse sont à 50%. Il lui est proposé un implant cochléaire à gauche. Pour le moment S préfère conserver la situation actuelle qui lui convient dans son quotidien.

### CONCLUSION

S a bénéficié d'un diagnostic de surdité profonde à 18 mois de vie, retardé par l'absence de dépistage en maternel (effectif depuis 2012) et la présence d'une OSM associée. L'otorrhée persistante sur ATT a également entravé les premières mesures audiométriques.

La perte d'audition droite était probablement sévère et moyenne deuxième degré à gauche. Le bilan vestibulaire a orienté vers une implantation à droite. Reste actuellement en suspens la question d'une implantation cochléaire gauche qui pourrait améliorer les scores perceptifs dans le bruit.

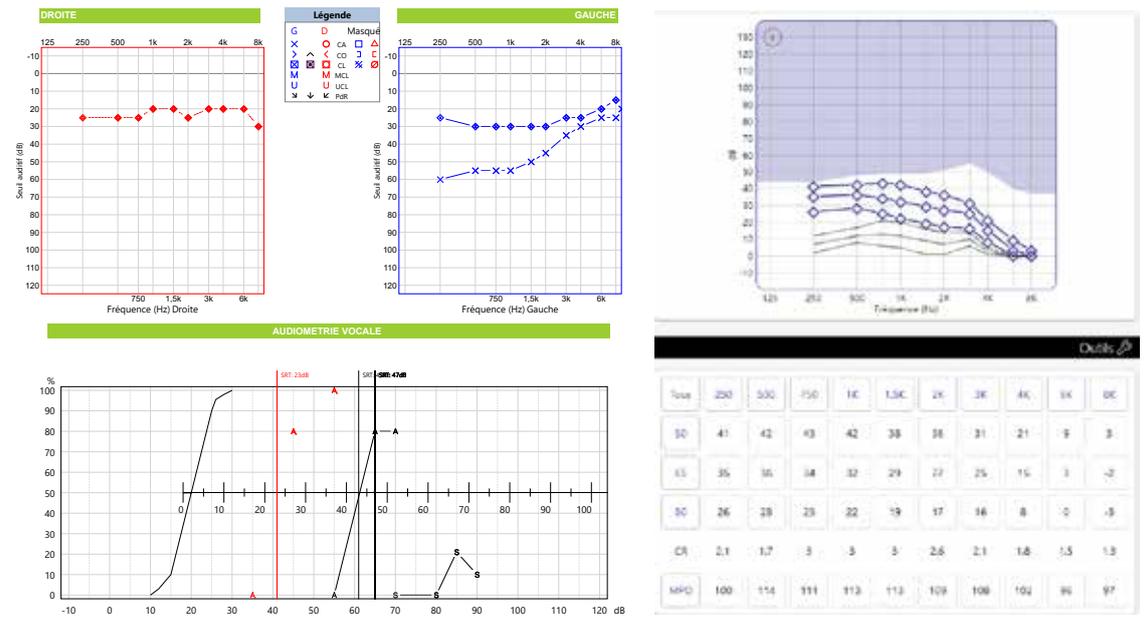


Figure 3 : A. Audiométrie tonale et vocale avec implant droit et prothèse auditive gauche, B. Courbe de gain du contour d'oreille GN RESOUND RE961® gauche compatible avec son processeur COCHLEAR CP 1000® droit (synchronisation des dispositifs à réaliser à l'hôpital).



# L'APPRENTISSAGE AUDITIF : INTÉRÊT(S) ET IMPORTANCE EN RÉHABILITATION AUDITIVE

**Auteur** Sarah ATTIA Comité de rédaction scientifique Audika

## HISTORIQUE

L'un des premiers sujets de recherche en psychologie de la perception repose sur l'apprentissage perceptif. Les études datent de plus de 150 ans mais il a fallu attendre le XX<sup>ème</sup> siècle pour que ce concept soit réellement exploité. A l'origine, la communauté neuroscientifique s'intéressait à la plasticité dans le cerveau mature (Calford, 2002). Cet intérêt fut initialement motivé par les découvertes sur la réorganisation corticale faisant suite à des lésions au niveau du système somato-sensoriel périphérique. Puis, ce domaine a évolué vers des études décrivant comment un entraînement intensif spécifique conduit à une réorganisation corticale. Au milieu des années 1990, un courant de recherche en psychologie du développement s'est intéressé aux troubles de l'apprentissage du langage comme la dyslexie. Dès lors, les activités se sont multipliées avec l'arrivée de procédures d'entraînement assistées par ordinateur visant à améliorer les capacités perceptives auditives et visuelles. Depuis peu, l'entraînement auditif est étudié en vue d'améliorer les performances d'intelligibilité de la parole chez les sujets sourds profonds implantés cochléaires (Fu & Galvin, 2007) et chez les sujets malentendants âgés appareillés (Banai et al., 2022). L'objet de cet article est de préciser la notion d'apprentissage auditif, ses modalités ainsi que son utilité dans la réhabilitation auditive tels que décrits dans la littérature.

## DÉFINITIONS

L'apprentissage auditif résulte d'entraînement constitué de scènes auditives répétées (Karni & Sagi, 1993). Il conduit à une amélioration durable de la performance de détection, de discrimination ou de catégorisation des stimuli auditifs. Les modifications physiologiques sont ajustées à la représentation corticale du stimulus auditif au niveau du cerveau (Gibson, 1969). Dans l'approche écologique, l'apprentissage perceptif est défini comme une amélioration de la capacité à extraire des informations pertinentes dans un ensemble de stimuli grâce à l'expérience acquise. Elle s'oppose à une approche plus traditionnelle dans laquelle la perception auditive nécessiterait un apprentissage initial pour percevoir l'information sensorielle auditive. L'apprentissage constitue donc une forme de plasticité sensorielle qui améliore la représentation et l'analyse de l'information auditive en réduisant toute forme de variabilité (bruit interne) au fur et à mesure de l'entraînement spécifique à la tâche (Jones et al., 2013).

## PARAMÈTRES D'INTÉRÊTS

### i. Engagement de l'auditeur

Il est naturel de penser que l'engagement actif dans une tâche d'apprentissage est nécessaire durant les séances d'entraînement pour aboutir à une amélioration significative de la performance auditive. Pourtant, un simple maintien en éveil suffit à produire une quantité faible, mais mesurable, d'apprentissage. En effet, toute forme d'écoute « passive » produit des changements notables sur la performance auditive favorisant l'apprentissage (Moore & Amitay, 2007). Cela laisse supposer que d'autres processus non sensoriels tels que l'éveil et l'attention sont impliqués dans l'apprentissage auditif et dans l'écoute « active » en général. Notons cependant que dans les protocoles de

recherche clinique, une participation active des participants est la plupart du temps sollicitée. Par ailleurs, une des formes d'apprentissage les plus remarquables résulte dans celle de la perception des unités phonétiques de la parole durant l'enfance. A la naissance, les enfants ont la capacité à détecter des contrastes phonétiques dans toutes les langues. Par la suite (dans leur première année de vie) si leur capacité à discriminer les différents contrastes des langues natales augmente, au contraire, leur capacité à percevoir les contrastes dans les langues non natales diminue (Kuhl & Rivera-Gaxiola, 2008).

### ii. Effets de la durée

En outre, qu'il soit de nature active ou passive même un apprentissage très rapide peut être étonnamment durable : un entraînement de quelques minutes à une tâche de discrimination de phonèmes peut aboutir, une semaine plus tard, à des performances supérieures à celles observées au début de l'entraînement initial (Alain et al., 2007). L'apprentissage rapide joue un rôle nécessaire dans l'amélioration de la compréhension de la parole. Il pourrait servir à acquérir ou entretenir des compétences aux auditeurs face à de nouveaux « défis » acoustiques. Les études sur l'apprentissage rapide sont plus représentatives du monde réel ; comprenant souvent une faible répétition du stimulus et des matériaux constitués d'un ensemble de phrases dans un environnement acoustique réel (Roark et al., 2021). Néanmoins, bien que certaines formes d'apprentissage auditif se produisent rapidement, une phase de consolidation entre les sessions est parfois nécessaire. Wright et Sabin (2007) notent que chez des sujets entraînés à une tâche de discrimination de fréquence ou d'intervalle temporel, les améliorations se produisent entre les séances

« L'OBJET DE CET ARTICLE  
EST DE PRÉCISER  
la notion d'apprentissage auditif,  
ses modalités ainsi que son utilité  
dans la réhabilitation auditive  
tels que décrits dans la littérature. »

d'entraînement quotidiennes plutôt qu'au sein d'une même séance. Ceci est aussi confirmé par la découverte de Kumpik et al. (2010) sur l'amélioration de la localisation azimutale des sons nécessitant une phase de consolidation probablement durant le sommeil. Enfin, Roth et al. (2005) démontrent que les améliorations d'une tâche nécessitant l'identification de stimuli consonne-voyelle dans le bruit sont retardées de quelques heures après l'entraînement, mais qu'une phase de consolidation n'est pas nécessaire pendant ce délai.

### iii. Spécificités liées à la tâche

Les études sur l'apprentissage auditif démontrent que le niveau de difficulté dans la tâche doit être ajusté pour maintenir l'intérêt et la motivation de l'auditeur durant l'entraînement. Tant que la tâche est suffisamment difficile l'apprentissage est robuste (Fu & Galvin, 2007). Concernant le choix des stimuli présentés dans les paradigmes d'apprentissage auditif, celui-ci dépend de la problématique étudiée et peut-être constitué de sons purs manipulés dans la dimension d'intérêt ou de sons de parole plus représentatifs de la réalité. En effet, dans le cadre des recherches actuelles sur l'amélioration de l'intelligibilité de parole, l'utilisation de stimuli « écologiquement valables » ainsi qu'un contexte sémantique sont souvent nécessaires pour aboutir à un environnement auditif réel. Les dernières données (Banai et al., 2023) suggèrent que l'entraînement à la perception de la parole est conditionné par des facteurs liés au stimulus (nature du locuteur ou encore distribution du signal) ainsi qu'à l'auditeur qui les perçoit (âge, langage et capacités cognitives). De manière générale, les auditeurs tendent à présenter des patterns de discrimination totalement différents et variables quelle que soit la nature des stimuli auditifs. Ceci démontre donc que les résultats de l'entraînement ne dépendent pas seulement des paramètres acoustiques mais aussi de la performance individuelle impliquant d'autres facteurs (e.g., cognitifs, mnésiques, sensoriels).

## APPLICATIONS

### i. Apprentissage et appareillage auditif

L'apprentissage auditif commence à être utilisé en tant qu'outil d'aide à la réhabilitation auditive des personnes malentendantes appareillées ou sourdes profondes implantées cochléaires. Récemment, une revue systématique a suggéré que la réhabilitation auditive des malentendants est meilleure grâce à la combinaison de la rééducation sensorielle des aides auditives et de l'entraînement auditif (Stropahl et al., 2020). Un tel programme d'apprentissage complémentaire permet d'améliorer la perception de la parole nouvellement amplifiée par une aide auditive dans des conditions où cette dernière est dégradée (problème difficile à résoudre malgré une technologie avancée). En effet, les multiples algorithmes destinés à compenser les conditions d'écoute défavorables ne résolvent pas les troubles de traitement supraliminaires consécutifs à la perte auditive neurosensorielle liée à l'âge. En revanche, l'utilisation proposée aux malentendants de nouveaux programmes d'entraînement auditif assisté par ordinateur démontre une amélioration notable de l'audition et de la communication, en particulier chez les sujets appareillés depuis plus de six mois et dans les deux semaines suivant le début de l'entraînement (Sweetow & Sabes, 2006). Cette amélioration est également observée chez les sujets implantés cochléaires (Fu & Galvin, 2007). C'est pourquoi depuis l'ère de la télémédecine, et en raison des adaptations requises par la pandémie de la covid-19, plusieurs programmes auditifs en ligne ont été développés afin d'aider les malentendants à domicile dans le processus d'adaptation à leurs aides auditives (Karah & Karawani, 2022). Le développement de ces outils d'assistance

présentent un potentiel considérable dans l'élargissement du type d'interventions disponibles, en particulier pour les personnes ayant du mal à se déplacer.

### ii. Apprentissage auditif et visuel

Les bénéfices probables de l'intégration des signaux auditifs et visuels sont particulièrement importants chez les sujets malentendants afin de maximiser la compréhension de la parole. Dans des conditions d'écoute bruyantes, la vision du locuteur peut permettre de surmonter les difficultés d'intelligibilité ; ce qu'une aide auditive seule ne peut pas faire puisqu'elle ne tient pas compte des indices de « parole visuelle » (Bernstein et al., 2022). Par conséquent, l'accès à l'utilisation des informations sensorielles et contextuelles dont disposent les malentendants serait intéressant à améliorer grâce à des méthodes d'entraînement impliquant ces deux modalités, par l'aide complémentaire de la lecture labiale par exemple.

Pour conclure, l'apprentissage auditif exploré sur le plan expérimental mais aussi clinique est extrêmement prometteur pour remédier aux troubles auditifs. L'efficacité et la qualité de ces programmes d'entraînement demande néanmoins une compréhension parfaite de leurs principes. A l'avenir, ces outils d'aide complémentaire seront certainement de plus en plus disponibles et ils permettront d'améliorer la pratique de l'audioprothésiste ainsi que celle de l'équipe multidisciplinaire intervenant dans la réhabilitation auditive.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alain, C., Snyder, J. S., He, Y., & Reinke, K. S. (2007). Changes in auditory cortex parallel rapid perceptual learning. *Cerebral Cortex*, 17(5), 1074-1084.
- Banai, K., Karawani, H., Lavie, L., & Lavner, Y. (2022). Rapid but specific perceptual learning partially explains individual differences in the recognition of challenging speech. *Scientific Reports*, 12(1), 10011.
- Banai, K. (2023). Auditory Perception & Cognition Call for Papers: Special Topic Auditory Learning and Training. *Auditory Perception & Cognition*, 1-1.
- Bernstein, L. E., Jordan, N., Auer, E. T., & Eberhardt, S. P. (2022). Lipreading: A review of its continuing importance for speech recognition with an acquired hearing loss and possibilities for effective training. *American Journal of Audiology*, 31(2), 453-469.
- Calford, M. B. (2002). Dynamic representational plasticity in sensory cortex. *Neuroscience*, 111(4), 709-738.
- Fu, Q. J., & Galvin III, J. J. (2007). Perceptual learning and auditory training in cochlear implant recipients. *Trends in Amplification*, 11(3), 193-205.
- Gibson, E. J. (1969). Principles of perceptual learning and development.
- Jones, P. R., Moore, D. R., Amitay, S., & Shub, D. E. (2013). Reduction of internal noise in auditory perceptual learning. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(2), 970-981.
- Karni, A., & Sagi, D. (1993). The time course of learning a visual skill. *Nature*, 365(6443), 250-252.
- Karah, H., & Karawani, H. (2022). Auditory perceptual exercises in adults adapting to the use of hearing aids. *Frontiers in Psychology*, 2603.
- Kuhl, P., & Rivera-Gaxiola, M. (2008). Neural substrates of language acquisition. *Annu. Rev. Neurosci.*, 31, 511-534.
- Kumpik, D. P., Kacelnik, O., & King, A. J. (2010). Adaptive reweighting of auditory localization cues in response to chronic unilateral earplugging in humans. *Journal of Neuroscience*, 30(14), 4883-4894.
- Moore, D. R., & Amitay, S. (2007, May). Auditory training: rules and applications. In *Seminars in Hearing* (Vol. 28, No. 02, pp. 099-109). Copyright© 2007 by Thieme Medical Publishers, Inc., 333 Seventh Avenue, New York, NY 10001, USA.
- Roark, C. L., Paulon, G., Sarkar, A., & Chandrasekaran, B. (2021). Comparing perceptual category learning across modalities in the same individuals. *Psychonomic bulletin & review*, 28, 898-909.
- Roth, D. A. E., Kishon-Rabin, L., Hildesheimer, M., & Karni, A. (2005). A latent consolidation phase in auditory identification learning: Time in the awake state is sufficient. *Learning & Memory*, 12(2), 159-164.
- Stropahl, M., Besser, J., & Launer, S. (2020). Auditory training supports auditory rehabilitation: a state-of-the-art review. *Ear and hearing*, 41(4), 697-704.
- Sweetow, R. W., & Sabes, J. H. (2006). The need for and development of an adaptive listening and communication enhancement (LACE™) program. *Journal of the American Academy of Audiology*, 17(08), 538-558.
- Wright, B. A., & Sabin, A. T. (2007). Perceptual learning: how much daily training is enough?. *Experimental Brain Research*, 180, 727-736.

# CHARGEURS POUR AIDES AUDITIVES RESOUND

## COMMENT ASSOCIER LES AIDES AUDITIVES RESOUND AU BON CHARGEUR ?

Chaque type de chargeur est proposé avec différents inserts - connus sous le nom de "Charging form factor" (CFF) - qui se rapportent à un modèle ou à une gamme d'aides auditives ReSound spécifique.

Le CFF est indiqué par un numéro et figure à l'intérieur du chargeur et sur l'emballage du chargeur.



Les numéros CFF 01 et 03 ne sont pas encore visibles sur le packaging - vous pouvez voir le numéro à l'intérieur du chargeur.

ReSound propose des solutions rechargeables avec charge à induction et longue durée de vie de la batterie pour que vos clients puissent toujours être en mouvement.



Chargeur Premium

Chargeur Standard

Chargeur de bureau

Chargeur pour intra

		06	06	-	-
ReSound OMNIA™ miniRIE		06	06	-	-
ReSound OMNIA™ RIE ReSound ONE™ RIE		01	01	-	-
ReSound OMNIA™ BTE ReSound ONE™ BTE		-	-	70	-
ReSound OMNIA™ PBTE ReSound ONE™ PBTE		-	-	80	-
ReSound OMNIA™ ITE/ITC ReSound ONE™ ITE/ITC		-	-	-	C
ReSound LiNX Quattro™ RIE		03	-	-	-

	ReSound OMNIA		ReSound OMNIA ReSound ONE					ReSound LiNX Quattro
	Chargeur Premium	Chargeur Standard	Chargeur Premium	Chargeur Standard	Chargeur de bureau	Chargeur de bureau	Chargeur Intra	Chargeur Premium
	miniRIE	miniRIE	RIE	RIE	BTE	Power BTE	Customs	RIE
Nomade avec batterie intégrée	•		•					•
Nomade sans batterie intégrée		•		•			•	
Connectique USB-C et câble d'alimentation	•	•	•	•	•	•	•	•
LED sur l'arrière	Affiche l'état de la batterie du chargeur	S'allume lorsque le chargeur est alimenté	Affiche l'état de la batterie du chargeur	S'allume lorsque le chargeur est alimenté	Affiche l'état de la batterie du chargeur			
LED sur le devant	Indique la charge des aides auditives		Indique la charge des aides auditives		Clignote pendant la charge	Clignote pendant la charge	Indique la charge des aides auditives	Indique la charge des aides auditives

### COMMENT SAVOIR SI LES AIDES AUDITIVES SONT EN CHARGE ?

Placez les aides auditives dans le chargeur et laissez-vous guider par les témoins lumineux des aides auditives. C'est le même processus quel que soit le chargeur utilisé.

Vous savez que la charge a commencé lorsque les voyants des aides auditives clignotent lentement.

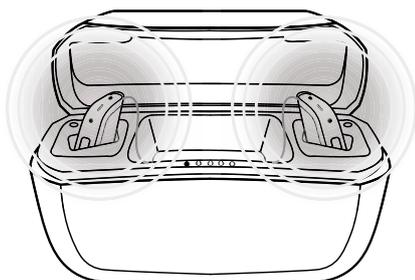
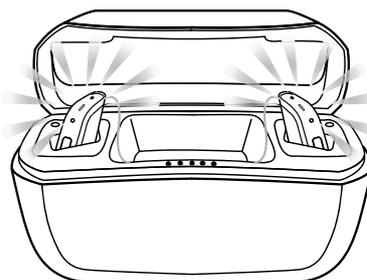


Illustration d'un chargeur Premium. Pour plus d'informations, veuillez consulter le guide d'utilisation individuel de chaque chargeur.



Lorsqu'ils sont complètement chargés, les voyants de l'aide auditive restent fixes et ne clignotent pas.

Les lumières s'éteignent lorsque les aides auditives sont retirées du chargeur.

### COMMENT RÉINITIALISER SON CHARGEUR PREMIUM ?

Avant d'envoyer votre chargeur premium en SAV et pour assurer une bonne charge des aides auditives, vous pouvez essayer de le réinitialiser.

À faire si :

- Je détecte une anomalie dans le cycle de charge
- Un appareil se coupe avant l'autre dans la journée
- Un appareil ne s'allume pas dans le chargeur

Ce procédé fonctionne que le chargeur soit branché sur secteur ou non.

- Étape 1 : nettoyez le fond des inserts pour que la cellule de détection optique fonctionne normalement
- Étape 2 : retournez le chargeur pour visualiser le bouton de réinitialisation. Il se situe dans le coin arrière droit.
- Étape 3 : effectuez un appui court sur le bouton avec un objet pointu.



## Auteur

Mikael MÉNARD

Responsable de formation et d'application

# ÉVOLUTION DE L'EFFICACITÉ DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DE SIGNIA ASSISTANT DANS LE TEMPS POUR AMÉLIORER LA SATISFACTION DES PATIENTS

## INTRODUCTION

L'acceptation et la satisfaction de l'appareillage par le patient, passe par un réglage personnalisé des aides auditives, adapté à la perte auditive mais aussi aux préférences du porteur. Deux patients présentant une même perte d'audition, commenceront peut-être leur période d'appareillage avec un réglage similaire mais n'auront finalement, pour des résultats et une acceptation similaire, pas un réglage équivalent. Cette personnalisation des réglages est un élément clé dans l'amélioration de la satisfaction du patient par rapport à ses aides auditives.

Aujourd'hui, cette personnalisation, lorsqu'elle est réalisée par des audioprothésistes experts, permet d'obtenir de formidables résultats, en interprétant le besoin du patient en une modification de réglage. Cependant, de nombreux obstacles viennent complexifier cette démarche. La nécessité du rendez-vous en cabine et donc la distance entre la modification du réglage et la survenue de la problématique, rend difficile cette personnalisation. Non seulement le souvenir du patient peut être déformé mais il est impossible de tester en direct cette modification dans la situation et le contexte. De plus, comme l'a montré Anderson et al. (2018), les paramètres de réglages d'une aide auditive, sont aujourd'hui de plus en plus nombreux et la bonne utilisation de ceux-ci nécessite une expertise importante de la part de l'audioprothésiste en charge du réglage.

En 2020, Signia a lancé « Signia Assistant » (SA) une nouvelle approche de réglage personnalisé à base d'intelligence artificielle (IA). Ce système permet de palier certaines limitations inhérentes au réglage évoquées précédemment (Høydal & Aubreville, 2020; Taylor & Høydal, 2023). L'idée principale est d'utiliser une IA à base de réseau de neurones profonds, afin de proposer des ajustements de réglages aux aides auditives du patient qui expérimente des difficultés. À l'aide de cette approche par IA, il est possible de prédire la meilleure solution au problème rencontré quelle que soit la situation et ce, à tout moment. La proposition de réglage avancée par SA dépend de plusieurs informations :

- 1) La situation dans laquelle se trouve le patient et le problème qu'il décrit,
- 2) Les données d'autres ajustements anonymes réalisés dans le monde pour des situations similaires et les solutions qui ont été validées,
- 3) Les préférences de l'utilisateur.

Dans des précédentes études (Høydal et al., 2020; Høydal et al., 2021), SA a montré des performances et bénéfices importants pour les patients ainsi qu'un fort taux de satisfaction, de leur part et de la part des audioprothésistes. Dans cet article, nous mettons en avant les bénéfices de ce système ainsi que l'évolution croissante de la pertinence des réponses apportées aux problématiques du patient par l'apprentissage continu de

l'IA, en analysant les données obtenues d'une grande partie des 150 000 utilisateurs de SA.

## SIGNIA ASSISTANT - LE FONCTIONNEMENT

Signia Assistant se présente à l'utilisateur par une très simple interface sur son smartphone (Wolf et al., 2020). Dans celle-ci, le problème rencontré pourra être décrit dans une messagerie instantanée, à travers laquelle l'interface posera des questions à choix multiples comme on peut le voir dans la figure n°1. SA proposera alors immédiatement et en temps réel une modification de réglage en accord avec le problème décrit mais aussi de la situation rencontrée par l'utilisateur. L'utilisateur peut alors garder, rejeter la solution proposée ou alors demander des modifications supplémentaires. Dans le cas où le réglage est gardé par l'utilisateur, cette modification est automatiquement intégrée au réglage universel du patient. Un retour au réglage initial est tout de même possible pour l'utilisateur à tout moment si besoin.

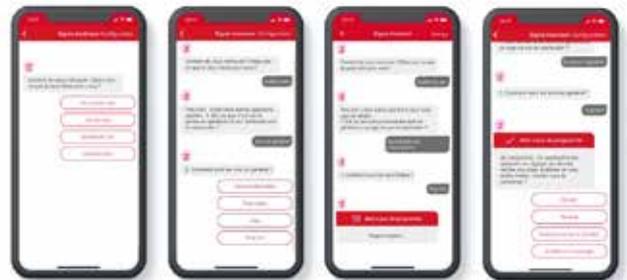


Figure 1. L'interface utilisateur de Signia Assistant. L'utilisateur décrit son problème et une solution lui est proposée, qu'il peut conserver ou rejeter. Il peut aussi demander des modifications supplémentaires.

Toutes les modifications apportées par SA sont disponibles pour l'audioprothésiste via Connexx à la prochaine relecture des appareils. SA est transparent sur ces modifications, et les audioprothésistes pourront visualiser, valider ou refuser ces modifications. SA peut alors être utilisé comme un outil complémentaire à leur travail et non comme un outil de substitution.

Comme indiqué en introduction, le cœur de Signia Assistant se base sur un réseau de neurones profonds qui va générer une modification de réglage personnalisé au patient et à sa problématique. Pour cela, SA va se baser sur le problème décrit par le patient ainsi que le scénario acoustique dans lequel il se trouve au moment de la description (le scénario en cours, parmi les 127 disponibles, ainsi que le niveau sonore mesuré). Ces informations, combinées à la perte du patient et

à son appareillage (type d'appareil, adaptation, aération ...), vont ensuite être envoyées via le smartphone du patient, à un serveur à distance intégrant ce réseau de neurones profonds. Ce dernier va alors renvoyer au smartphone sa **modification de réglage personnalisée** qui sera instantanément proposée au patient. Il pourra alors juger en temps réel de sa pertinence en validant ou non celle-ci, ou en demandant encore plus de modifications. Ce retour est très important pour l'apprentissage continu de cette IA, qui petit à petit, va apprendre de ces retours et renforcer la pertinence de ses propositions.

L'utilisation d'une IA est, dans le cadre de cette assistance, indispensable compte tenu de la multitude du nombre de cas possibles. Il serait impossible de prévoir chaque cas et de proposer un tableau avec la solution à chacun d'entre eux. Cette solution ne permettrait pas d'envisager l'ensemble des cas et ne pourrait évoluer d'elle-même dans le temps. L'IA utilisée pour SA a été pré-entraînée à partir d'une base de données basée sur la littérature (ex : Jenstad et al., 2003) mais aussi sur les retours apportés par des audioprothésistes dans le monde entier, questionnés sur la solution qu'ils proposeraient à telle problématique ou à tel cas de figures. Ces retours ont servi de base de départ pour construire le réseau de neurones profonds, qui a ensuite fait évoluer automatiquement les solutions proposées à partir des milliers de retours patients utilisateurs de SA. Le système continue d'évoluer au fur et à mesure du temps, ce que nous allons pouvoir évaluer à la suite de cet article. Pour plus d'informations vous pouvez consulter les articles des auteurs suivants Høydal & Aubreville (2020) and Wolf (2020).

## ANALYSE DU NIVEAU D'ACCEPTATION

Pour cet article, nous allons analyser le taux d'acceptation des solutions proposées par SA dans le quotidien d'un grand nombre d'utilisateurs et ce, pour différentes périodes. Nous définissons comme taux d'acceptation, le pourcentage de modifications proposées par SA qui ont été conservées par les utilisateurs. Ce taux d'acceptation peut être calculé pour chaque type de problématiques et solutions proposées mais, pour plus de lisibilité, nous le présenterons ici en catégories de problématiques. Ce taux nous donne une indication directe sur comment SA peut résoudre les problématiques rencontrées par les patients. En partant du principe que si le patient a conservé la modification, c'est que la solution proposée a amélioré sa satisfaction générale. On peut donc faire un lien entre ce taux d'acceptation et la satisfaction globale du patient avec son appareillage.

Pour cet article, nous avons cherché à examiner l'évolution des performances de SA au cours du temps et donc indirectement l'évolution de l'apprentissage de l'IA. Pour cela, nous avons analysé les données collectées sur 3 périodes : Le 1er trimestre 2021 (Q1-2021), le 4ème trimestre 2021 (Q4-2021) et le 3ème trimestre 2022 (Q3-2022). Notre étude porte donc sur une durée de 21 mois avec des intervalles de 6 mois entre chaque trimestre de relevés. Pendant cette période l'IA n'a cessé d'évoluer au fur et à mesure des retours utilisateurs. L'analyse inclut un sous-échantillon d'environ 60 000 utilisateurs de SA sur cette période. Nous ne ferons pas la différence dans cette analyse, des degrés de perte auditive des utilisateurs, ni du type d'appareils utilisés, ni du nombre d'utilisations par utilisateurs ou encore le pays dans lequel la modification a été réalisée. Nous avons simplement retiré les problématiques liées au streaming, SA ne gérant ces problématiques que depuis un laps de temps trop court pour cela.

## TAUX D'ACCEPTATION PAR CATEGORIES DE PROBLÈMES

Sur la figure n°2, nous avons reporté les taux d'acceptation des solutions proposées par SA pour 3 grandes catégories de problèmes pouvant être rencontrés par les utilisateurs : « Qualité du son en général », « perception de la propre voix », « qualité de la voix des autres ». Un 4<sup>ème</sup> groupe a été créé pour donner une évaluation « totale » regroupant l'ensemble des problématiques.

Pour chacune des catégories, le taux de satisfaction est donné pour les 3 périodes au cours desquelles les relevés ont été effectués. Les points (reliés par des lignes noires) montrent, quant à eux, le pourcentage des utilisateurs ayant reporté un problème relatif à cette catégorie et ce, là aussi, pour chacune des périodes. Par exemple : sur la problématique de la propre voix, on peut voir que pour le Q1-2021, 43 % des utilisateurs ont relevé la problématique de la propre voix et 70% ont conservé la modification proposée par SA. Pour le Q4-2021, 40% utilisateurs ont relevé la problématique de la propre voix et 76% ont conservé la modification proposée par SA. Pour le Q3-2022, 37% utilisateurs ont relevé la problématique de la propre voix et 79% ont conservé la modification proposée par SA.

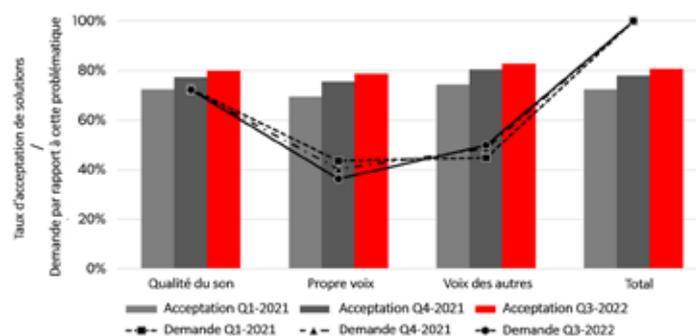


Figure 2. Taux d'acceptation des solutions proposées par SA pour 4 catégories de problèmes (qualité du son, propre voix, voix des autres et Total). Ce taux est donné pour 3 périodes de temps, différenciées par la couleur des barres. Les points reliés par les segments représentent quant à eux, pour chacune des catégories et périodes de mesure, le pourcentage de demande par rapport à cette problématique.

L'analyse des résultats reportés sur cette figure n°2 nous montre plusieurs points intéressants. Tout d'abord, le taux d'acceptation des solutions proposées par Signia Assistant est relativement haut. Ce taux d'acceptation est systématiquement supérieur à 70% ce qui montre la pertinence de la proposition apportée par SA à la problématique reportée par l'utilisateur. Ensuite, on peut voir, quelle que soit la catégorie considérée, une évolution positive de ce taux d'acceptation au fur et à mesure du temps. Celle-ci traduit l'évolution de l'apprentissage de l'IA, qui au cours du temps améliore la pertinence de sa proposition de solution.

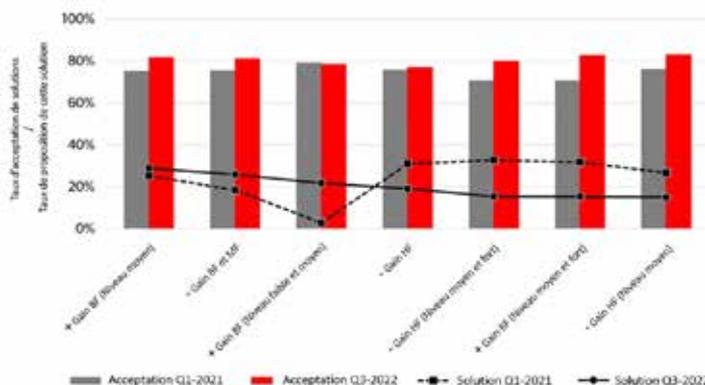
Ensuite, concernant le pourcentage des utilisateurs ayant reporté un problème, on constate que mise à part la catégorie « propre voix », le pourcentage reste stable dans le temps. Résultat attendu compte tenu du fait que SA n'influence pas le pré-réglage ou le réglage initial des appareils fait par l'audioprothésiste, mais intervient dans un deuxième temps, sur le réglage des appareils. Les problématiques et attentes des patients restent donc constantes. Concernant la problématique de la propre voix, elle est en relation directe

avec la **fonctionnalité OVP** des appareils (Froehlich et al, 2018), permettant la gestion de la propre voix de l'utilisateur. Cette fonctionnalité a évolué au fur et à mesure des mises à jour des appareils et l'amélioration de son efficacité se traduit par cette demande des patients en recul avec le temps. Cela dit, la catégorie la plus demandée par les utilisateurs concerne « la qualité du son de manière générale ».

## NIVEAU D'ACCEPTATION PAR SOLUTION POUR UN PROBLÈME DONNÉ

Nous nous sommes concentrés jusqu'ici sur les problématiques et taux d'acceptation des solutions proposées par SA, sans nous attarder précisément sur ces solutions et multiples suggestions qui peuvent être proposées par SA pour un même problème. Pour exemple, on va se focaliser sur le problème le plus couramment reporté, à savoir : « le son en général est trop aigu ». Pour solutionner cette problématique, SA peut proposer plus de **40 ajustements** différents des aides auditives. Nous allons analyser les solutions qui ont été proposées au moins 1% du temps dans chacune des 2 périodes prises pour comparaison (Q1-2021 et Q3-2022).

Sur la figure 3, ci-dessous, les données pour 7 solutions qui ont été le plus fréquemment proposées à la problématique évoquée précédemment. Pour chacune d'elle, on peut voir le taux d'acceptation, ainsi que le pourcentage de fois où cette solution a été présentée (la somme pouvant faire + de 100% par le fait que des utilisateurs ont fait plusieurs fois la demande). Avant d'aller plus loin dans cette analyse, il faut comprendre qu'il n'y a pas une seule bonne solution à la problématique évoquée. Plusieurs solutions existent, chacune adaptée à un cas de figure différent (type de perte, situation dans laquelle la problématique est rencontrée...). L'objectif étant alors pour un système intelligent de savoir comment et quand appliquer telle ou telle solution.



**Figure 3. Taux d'acceptation des solutions proposées par SA pour la problématique : « le son en général est trop aigu » pour les périodes Q1-2021 et Q3-2022. Les points reliés par les segments représentent pour chacune des solutions, le taux de proposition par solution pour les périodes Q1-2021 et Q3-2022.**

Comme vu précédemment, l'acceptation des solutions proposées augmentent globalement au fur et à mesure du temps. En Q1-2021 on était en moyenne autour de 73% de taux d'acceptation alors qu'en Q3-2022, le taux d'acceptation est en moyenne aux environs de 80%. La répartition du taux de proposition, lui, évolue fortement, reflétant l'évolution de l'IA de Signia assistant entre Q1-2021 et Q3-2022 dans ses

propositions de solutions. On peut voir, par exemple, que les 4 dernières solutions sont beaucoup moins proposées aux utilisateurs en 2022 par rapport à 2021 et ce pourtant, avec un taux d'acceptation en forte hausse. Cela traduit le fait que SA propose désormais ces solutions spécifiques aux cas de figures pour lesquels elles fonctionnent bien et non plus au cas où elle ne fonctionne pas ou moins bien. On obtient donc une fréquence de proposition moins élevée pour ces 4 dernières solutions et d'autres solutions (les 3 premières par exemple) qui deviennent, elles, plus fréquemment proposées. On le voit bien pour la solution en 3<sup>ème</sup> position qui passe d'une proposition de 3% en 2021 (avec une acceptation pourtant de 80% !) à + de 20% en 2022... Cela nous montre bien la capacité de l'IA de Signia Assistant à s'adapter et apprendre progressivement des retours des utilisateurs, pour améliorer ses propositions de solutions à leurs problématiques.

Finalement sur cette figure n°3, on peut voir les différentes approches pouvant être mises en place pour résoudre une même problématique. Ces solutions peuvent amener à augmenter ou baisser les gains différemment par fréquence, par niveau d'entrée (compressions)... **Une problématique que connaissent bien les audioprothésistes**, à savoir qu'il n'existe pas une solution unique à une problématique mais une multitude de solutions qu'il faut pouvoir personnaliser en fonction de l'appareillage, de la perte, de la situation et des besoins de l'utilisateur. SA prend en compte une multitude de paramètres pour construire la solution adaptée et pas seulement la problématique qui, à elle seule, on le voit bien, ne suffit pas pour proposer la bonne solution.

## DISCUSSION

Les données présentées dans cet article démontrent, comme nous l'avons décrit, l'amélioration des performances de SA au cours du temps et de son apprentissage. Mais que peut-on attendre dans le futur ? Les évolutions vont-elles continuer à faire évoluer le taux de satisfaction jusqu'à arriver à 100% Une réponse honnête serait de dire que le système va continuer à s'améliorer progressivement, les progrès en IA et dans le domaine des aides auditives sont constants, mais qu'un plateau en dessous de ce 100% risque d'apparaître. Chaque utilisateur est différent et il sera toujours extrêmement complexe d'anticiper et trouver à coup sûr la solution idéale. Cependant, il est déjà extrêmement satisfaisant de savoir que le taux d'acceptation proposé à ce jour, après seulement 2 ans d'apprentissage, est déjà de 80 % !

Ce taux d'acceptation élevé, est en partie lié au fait que SA peut proposer une **solution en temps réel** à l'utilisateur, dans la condition et le moment relatifs à la problématique. Cela montre l'intérêt que peut présenter SA et de manière plus large, l'IA dans l'assistance à l'audioprothésiste pour un réglage précis et personnalisé. Signia Assistant est un véritable outil, accompagnant l'audioprothésiste et son patient pour assister et compléter la personnalisation du réglage. Ces outils à base d'IA se démocratisent dans de nombreux domaines médicaux comme en dermatologie où l'analyse de la peau permet un diagnostic et un traitement plus précis. **L'audioprothésiste a la main sur toutes les modifications** apportées par SA et peut consulter, valider, modifier, supprimer tous ces ajustements au besoin.

Dans cet article, nous avons analysé les problèmes pouvant être traités par SA, mais cela ne correspond pas à tous les problèmes rencontrés par les utilisateurs. Désormais, SA intègre la prise en charge des soucis liés à l'écoute en streaming.

À l'avenir, ce système permettra d'intégrer plus de problématiques. En cela, **Signia Assistant évolue** aussi et apprend de nouvelles compétences et d'autres champs d'actions.

## CONCLUSION

Dans cet article nous avons décrit comment et pourquoi Signia Assistant utilisait l'Intelligence Artificielle pour proposer des ajustements de réglage, afin de résoudre des problématiques pouvant être rencontrées par les utilisateurs dans leurs vies quotidiennes. Cette assistance, très simple de mise en œuvre pour l'utilisateur et l'audioprothésiste, permet un ajustement précis et personnalisé du réglage.

Les données présentées dans cet article, montrent une évolution continue du taux d'acceptation des propositions de SA faites aux utilisateurs dans le temps, avec un taux d'acceptation qui est passé de 73% à 80% de début 2021 à fin 2022 ! Cette évolution est la conséquence de l'apprentissage continu du système en lien avec les retours faits par les utilisateurs, mais aussi de l'amélioration de l'IA elle-même.

Signia Assistant et son intelligence artificielle se positionnent comme un outil efficace pour la personnalisation du réglage des patients et pour une plus grande satisfaction, mais aussi comme un outil d'accompagnement pour les audioprothésistes.

## RÉFÉRENCES

- Anderson, M. C., Arehart, K. H., & Souza, P. E. (2018). Survey of current practice in the fitting and fine-tuning of common signal-processing features in hearing aids for adults. *Journal of the American Academy of Audiology*, 29(2), 118-124.
- Froehlich, M., Powers, T. A., Branda, E., & Weber, J. (2018). Perception of own voice wearing hearing aids: Why "natural" is the new normal. *AudiologyOnline*, Article 22822.
- Høydal, E. H., & Aubreville, M. (2020). Signia assistant backgrounder. *Signia White Paper*.
- Høydal, E. H., Aubreville, M., Fischer, R. L., Wolff, V., & Branda, E. (2020). Empowering the wearer: AI-based signia assistant allows individualized hearing care. *Hearing Review*, 27(7), 22-26.
- Høydal, E. H., Jensen, N. S., Fischer, R. L., Haag, S., & Taylor, B. (2021). AI assistant improves both wearer outcomes and clinical efficiency. *Hearing Review*, 28(11), 24-26.
- Jenstad, L. M., Van Tasell, D. J., & Ewert, C. (2003). Hearing aid troubleshooting based on patients' descriptions. *Journal of the American Academy of Audiology*, 14(07), 347-360.
- Taylor, B., & Høydal, E. H. (2023). Machine learning in hearing aids: Signia's approach to improving the wearer experience. *AudiologyOnline*, Article 28495.
- Wolf, V. (2020). How to use Signia Assistant. *Signia White Paper*.



# Cabinet BAILLY

à votre écoute depuis  
plus de 110 ans

**ASSURANCES AIDES AUDITIVES**  
**PERTE • VOL • CASSE** TOUS DOMMAGES

Des garanties complètes  
basées sur le prix de vente de l'appareil  
Souscription d'une durée au choix pour **1 an ou 4 ans**

**GESTION SIMPLIFIÉE**

Le cabinet BAILLY s'occupe de tout  
Audioprothésistes, nous vous déchargeons de toute gestion  
de la souscription au règlement des sinistres.



**POUR TOUS**

Le cabinet BAILLY est à l'écoute  
des enfants et des adultes

**À partir de**

**35€/an**

**99€ pour 4 ans**

🏠 5 rue Saint-Didier  
52600 HORTES

☎ 03 25 87 57 22

@ contact@ab2a.fr

f ab2a.bailly

CONTACTEZ  
NOUS ●●



**AUDIOPROTHÉSISTES RÉGION PACA**  
AIX / DRAGUIGNAN / MARSEILLE / NICE / SAINT-RAPHAËL

**REJOIGNEZ-NOUS !**

- ✓ **Empathiques et à l'écoute** des besoins de vos patients,
- ✓ Motivés pour rejoindre un **réseau régional dynamique**,
- ✓ Plateaux techniques **performants et innovants**,
- ✓ **Focus sur l'appareillage** : gestion, investissements, administratif gérés pour vous,
- ✓ Respect des pratiques professionnelles, individualisation de l'offre, **l'humain avant tout !**

**ENVOYEZ VOTRE CV À :**  
**RECRUTEMENT@LAMUT.FR**

- CDI**  
Statut Cadre
- 55-70K€ annuels brut**  
Fixe + variable
- Centres certifiés**  
Bureau Veritas Quali'Audio
- Entreprise responsable**  
Socialement engagée
- Chèques déjeuner**  
**Comité d'entreprise**  
Nombreux avantages
- Région privilégiée**  
Soleil, mer & montagne



www.lamut.fr  
Organisme agréé par le Code de la Mutualité  
N° SIREN 352 098 131

Il est où  
le bonheur ?



*Chez  
Audition  
Conseil !*

**Audition Conseil recherche  
un(e) audioprothésiste D.E.**

**BAGNOLS-SUR-CÈZE et BOLLÈNE**

Vous intégrerez une équipe dynamique (sur 4 centres, tous pourvus des équipements nécessaires à la bonne pratique de votre métier) dans la région Gard Rhodanien, aux portes de la Provence, où le cadre de vie est idéal pour les amoureux de la nature et du soleil.

Vous rejoindrez un réseau National d'indépendants en constante progression, dont l'expertise et le savoir-faire sont reconnus de tous.

**CDI temps plein ou 4j/semaine, tout niveau d'expérience, avec salaire et conditions attractives (primes et avantages)**  
Poste à pourvoir immédiatement.



**AUDITION  
CONSEIL**

Le Bonheur est dans l'Oreille

**GARD**

**Pour postuler,  
merci d'envoyer CV  
et lettre de motivation à :**

Damien Lançon  
**damien.lancon@free.fr**

**auditionconseil.fr | f in**

**30 ans  
d'Expérience  
reconnue**

*Chez Audition Conseil !*

En choisissant l'enseigne nationale Audition Conseil pour transformer, créer et développer votre activité d'**Audioprothésiste Indépendant**, vous faites le choix de conserver votre liberté d'entreprendre tout en adhérant à un univers de marque soigné, chaleureux et élégant à la notoriété nationale ainsi qu'un accompagnement terrain clé en main.

**BIENVILLANCE ET POSITIVITÉ REFLÈTENT LA VISION DE VOTRE MÉTIER... REJOIGNEZ-NOUS ET CULTIVONS ENSEMBLE VOTRE EXPERTISE DÉDIÉE À LA SANTÉ ET AU BIEN-ÊTRE AUDITIF DE VOS CLIENTS !**



**AUDITION  
CONSEIL**

Le Bonheur est dans l'Oreille

**RENCONTRONS-NOUS !**

Audition Conseil France  
acfparis@auditionconseil.fr  
**01 56 56 75 61**

**auditionconseil.fr | f in**

# STYLETTO™

La plus élégante des aides auditives continue sa révolution technologique

NOUVEAU

OPTIMISATION  
eWindScreen  
+  
Détection des  
scénarios  
(OVP+DSP)



PIONNIER  
ET CULTE  
DEPUIS 2018



Be  
Brilliant™



signia

## Styletto AX

Précurseur et leader d'une nouvelle génération d'aides auditives, avec sa 4<sup>ème</sup> édition, Signia continue de faire évoluer le **1<sup>er</sup> SLIM-RIC du marché** avec **l'optimisation de 2 innovations**.



### eWindScreen™

pour atténuer le bruit du vent



### Détection des scénarios

pour optimiser les sons dans des situations complexes



### Fonction CallControl

pour décrocher un appel, directement via double tape



### OVP™ 2.0

pour une perception naturelle de sa propre voix



### Auto EchoShield

pour une réduction automatique des réverbérations gênantes



### HandsFree for iOS™

pour un échange téléphonique en mains libres



Chargeur  
nomade

Chargeur  
Dry&Clean

Jusqu'à  
5 jours  
d'autonomie\*\*



Noir  
& Argent

Bleu cosmique  
& rose doré

Blanc neige  
& rose doré

Noir  
& Graphite

Noir  
& Or fin

Bleu cosmique  
& Argent

Bleu cosmique  
& Or fin

Blanc neige  
& Argent

Blanc neige  
& Or fin



Augmented  
Xperience

signia-pro.com

\* Révélez-vous. \*\* 20h d'autonomie dont 17h avec streaming + 4 recharges avec le chargeur nomade. \*\*\* Mode mains libres pour appareils iOS. Disponibilité à partir de l'iPhone 11, iOS version 15.1 ou plus.

Ces produits sont destinés aux personnes souffrant de troubles de l'audition. Caractéristiques techniques disponibles sur le site internet. Pour un bon usage, veuillez consulter les manuels d'utilisation. Les aides auditives et l'application Signia App sont des dispositifs médicaux de classe IIa. Les marques et symboles Bluetooth® sont la propriété exclusive de Bluetooth SIG Inc. utilisés par WSAUD A/S sous permission. Les autres marques et symboles appartiennent à leurs propriétaires respectifs. Android, Android robot et Google Play sont des marques déposées de Google Inc. Apple App Store est une marque déposée d'Apple Inc. iPhone est une marque déposée de Apple Inc., enregistrée aux États-Unis et dans les autres pays. Les aides auditives sont des dispositifs médicaux remboursés par les organismes d'assurance maladie. Classe 1 : Codes individuels (Base de remboursement) - de 20 ans : 7336246, droite / 7336223, gauche (1400 €) et + de plus 20 ans : 7336200, droite / 7336230, gauche (400 €). Classe 2 : Codes individuels (Base de remboursement) - de 20 ans : 7336163, droite / 7336140, gauche (1400 €) et + de plus 20 ans : 7379971, droite / 7336186, gauche (400 €). 04/2023 ©WSAUD A/S.

# BICORE UNE EXPÉRIENCE D'ÉCOUTE TOUJOURS PLUS FIABLE

COMPTEZ SUR  
**LIFEPROOF**  
REXTON



BiCore R-Li

BiCore R 312

BiCore SR

BiCore B-Li M Rugged

BiCore Custom-Li

Des aides auditives en lesquelles vous pouvez  
**avoir confiance** tout au long de la journée.



**MyVoice 2.0** pour une acceptation encore plus naturelle de la voix du porteur.



**Réducteur de réverbération automatique** permettant un son plus fluide et naturel.



**Appels mains libres** en Bluetooth sur iOS uniquement.



Retrouvez-nous sur   

[www.rexton.com/fr-fr](http://www.rexton.com/fr-fr) | [shop.biotone.fr](http://shop.biotone.fr)

# REXTON