



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

---

**Directeur Pr Jacques LUAUTE**

---

Résistivité de l'intelligibilité en fonction de la vitesse d'élocution et influence des constantes de temps de la compression

MEMOIRE présenté pour l'obtention du

**DIPLOME D'ETAT D'AUDIOPROTHESISTE**

par

Dorothee JOUAN

Autorisation de reproduction

LYON, le 21 octobre 2022

Directeur de l'Enseignement  
David COLIN

N° 936



Président  
**Pr Frédéric FLEURY**

Vice-président CFVU  
**M. CHEVALIER Philippe**

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

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

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

## Secteur Santé

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

U.F.R d'Odontologie  
Directeur  
**Pr. SEUX Dominique**

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

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

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

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

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



## Secteur Sciences et Technologies

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

Directeur

**M. VANPOULLE Yannick**

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

Directeur

**M. LEBOISNE Nicolas**

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

Directeur

**M. CHAREYRON Pierre**

UFR de Sciences et Technologies

Directeur

**M. ANDRIOLETTI Bruno**

POLYTECH LYON

Directeur

**Pr PERRIN Emmanuel**

IUT LYON 1

Directeur

**M. VITON Christophe**

Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique de Lyon (ESCPE)

Directeur

**M. PIGNAULT Gérard**

Observatoire astronomique de Lyon

Directeur

**Mme DANIEL Isabelle**

## Résumé

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.

## **Remerciements**

Je tiens tout d'abord à remercier Xavier THEVENIN, mon maître de stage, pour son accueil, sa bienveillance, son aide et son soutien dans la réalisation de ce mémoire, ainsi que pour son œil avisé lors de la relecture de mes écrits.

Merci également à Christine BONNET, l'assistante de Monsieur Thevenin, qui a été d'une aide très précieuse au sein du laboratoire, notamment pour m'aider au recrutement des patients qui ont participé à cette étude ; patients que je remercie bien évidemment pour leur disponibilité et leur patience, sans eux, cette étude n'aurait pas eu lieu d'être.

Je remercie aussi David COLIN et Fabien SELDRAN pour leur aide précieuse, ils m'ont soutenue et guidée avec patience et gentillesse.

Merci à Mme VILLALON qui veille sur nous et sur le bon déroulement de nos stages respectifs.

Merci aussi à mes parents, qui m'ont encouragée et soutenue dans cette reconversion, et plus particulièrement ma mère, qui a relu patiemment mes écrits. Pour ce travail de relecture, je remercie également Charlotte. Et je n'oublie pas Valérie, qui m'a accueillie les bras ouverts, et m'a nourrie de petits plats et de gentillesse.

Enfin un grand merci à mon cercle familial proche : Sébastien, qui m'a toujours soutenue, même durant mes périodes de révision où la patience n'était pas ma principale qualité ; et mes super filles, Lilie et Eglantine, qui ont su s'adapter à mes absences répétées et mon manque de disponibilité, sans jamais me le reprocher.

# Sommaire

<b>Résumé</b> .....	1
<b>Remerciements</b> .....	2
<b>Introduction</b> .....	5
<b>Partie I : Eléments théoriques</b> .....	7
I. La parole .....	7
1. Composante fréquentielle de la parole et son décodage .....	8
2. Composante temporelle de la parole et son décodage .....	9
II. La compréhension de la parole chez le sujet presbycousique.....	13
1. La presbycousie.....	13
2. Influence sur la compréhension de la parole.....	14
3. Compréhension et vitesse d'élocution.....	16
III. Apport de l'aide auditive .....	18
1. Généralités.....	18
2. La compression et ses conséquences sur un signal de parole.....	19
<b>Partie II : Matériel et méthode</b> .....	25
I. Population étudiée .....	25
II. Matériel utilisé .....	26
1. Test CODEX.....	26
2. Matériel phonétique et matériel de test .....	27
3. Logiciel Audacity .....	28
III. Déroulement des tests .....	29
1. Anamnèse, Otoscopie et test Codex .....	29
2. Audiométrie tonale au casque .....	30
3. Audiométrie vocale au casque.....	31
4. Test de résistivité de l'intelligibilité en fonction de la vitesse d'élocution oreilles nues. ....	32
5. Test de résistivité de l'intelligibilité en fonction de la vitesse d'élocution oreilles appareillées .....	33
<b>Partie III : Résultats</b> .....	35
I. Comparaison normo-entendant – malentendant .....	35
II. Comparaison malentendant oreilles nues – oreilles appareillées.....	36
III. Comparaison des différents réglages.....	37

IV.	Calcul du SRT et influences de différents paramètres .....	38
1.	Comparaison population normo entendante et malentendante .....	39
2.	Influence de l'âge et de la perte auditive .....	40
3.	Lien entre le SRT et le test CODEX .....	41
4.	Impact de l'appareillage .....	42
5.	Influence des constantes de temps .....	44
V.	Progrès réalisés et relation avec l'âge, la perte tonale et les résultats au codex .....	44
	<b>Partie IV : Discussion</b> .....	46
	<b>Conclusion</b> .....	50
	<b>Bibliographie</b> .....	51

## *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 combler 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 ?

Après un rappel rapide de ce qu'est un signal de parole et de ce dont il est composé, nous nous attacherons à comprendre quels sont les mécanismes intervenant dans la perception de la parole chez le normo-entendant et chez le malentendant, notamment dans le cas d'une vitesse d'élocution élevée.

Nous verrons également comment les constantes de temps de compression dans les aides auditives jouent sur les indices permettant la compréhension de la parole.

Dans notre étude, nous regarderons le lien qu'il existe entre la compréhension dans le cas d'une vitesse d'élocution élevée et différents paramètres tels que l'âge, la perte auditive et les performances cognitives. Nous avons également cherché le seuil lors d'un test de résistivité de l'intelligibilité en fonction de la vitesse d'élocution pour différents temps de retour de la compression.

En fonction de nos résultats, nous verrons si certains types de compression sont néfastes à la compréhension dans le cas d'une vitesse d'élocution élevée.

## ***Partie I : Eléments théoriques***

### **I. La parole**

Dans la langue française, on compte 36 phonèmes, dont 21 consonnes (6 occlusives, 7 fricatives, 4 nasales, 3 approximantes et une approximante latérale) et 15 voyelles.

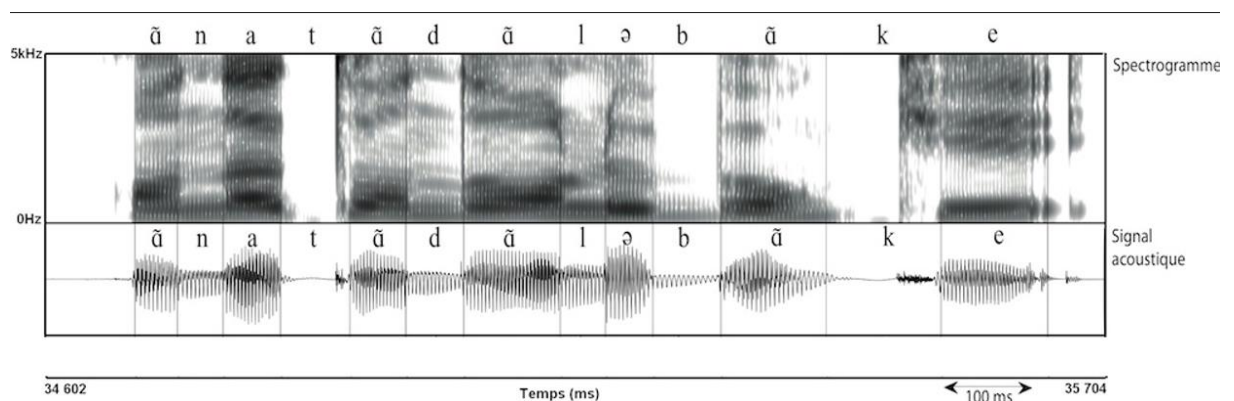
Les voyelles sont toutes voisées, donc produites à partir de la vibration des cordes vocales et donc à partir d'une source périodique. Le passage de l'air est ici, contrairement aux consonnes, libre. Elles se distinguent les unes des autres par leur fondamentale et/ou leurs harmoniques et sont caractérisées par leurs 3 premiers formants (qui correspondent aux harmoniques renforcées par la résonance dans la cavité de transfert).

Les consonnes correspondent, elles, à un passage de l'air qui est entravé, et peuvent être voisées ou sourdes, ce qui permet de distinguer 2 consonnes ayant le même lieu et le même mode d'articulation. Elles ne peuvent être émises qu'en présence de voyelles et sont donc fortement liées à la notion de transition formantique, qui correspond à l'influence des lieux d'articulation des consonnes sur la voyelle suivante.

Ces phonèmes ont des durées très variables, qui peuvent aller de quelques millisecondes (comme pour les consonnes les plus courtes), à plusieurs centièmes de secondes (pour les voyelles ou semi-voyelles les plus longues).

Les phonèmes sont ensuite associés pour former des syllabes, puis des mots, puis des phrases, et constituer un signal de parole. La parole est ainsi formée de sons complexes et contient des informations fréquentielles, mais également des

informations temporelles. Dans l'exemple ci-après (Figure 1), l'oscillogramme en haut ne donne accès qu'à l'information temporelle du signal. Le sonagramme en dessous montre la représentation en fréquence (axe vertical) et temporel du signal (axe horizontal). Une zone foncée indique qu'il y a beaucoup d'énergie à un temps donné et pour une fréquence bien spécifique.



**Figure 1** : oscillogramme et spectrogramme de la phrase « En attendant le banquet »

## 1. Composante fréquentielle de la parole et son décodage

Comme vu ci-dessus, la parole est créée par la vibration des cordes vocales lors de l'expulsion de l'air. La périodicité avec laquelle vibrent les cordes vocales nous donne la fréquence fondamentale  $F_0$  du signal ( $F_0=1/T$  où  $T$  est la périodicité).

Du fait des cavités de résonance, modulées par les organes articulateurs, on retrouve dans le signal de parole des modulations de la fréquence fondamentale, quand le son est voisé, qui correspondent à des harmoniques que l'on appelle formants.

Les transitions formantiques, qui sont dues au phénomène de coarticulation entre une voyelle et une consonne plosive ou nasale, modifient transitoirement les

fréquences des formants et donnent des informations acoustiques capitales pour la reconnaissance de ces consonnes.

Au niveau cochléaire, on distingue le codage spatial et le codage temporel. En effet, le signal de parole qui arrive est décomposé en fréquences du fait de la tonotopie (passive et active), les basses fréquences étant codées au niveau de l'apex et les hautes fréquences au niveau de la base. Cette tonotopie se retrouve tout le long du système auditif (jusqu'au cortex), c'est-à-dire que chaque fibre nerveuse cochléaire va être caractérisée par sa courbe de réponse en fréquence. Il s'agit ici du codage spatial.

En deçà de 4000 Hz, le codage fréquentiel n'est pas que spatial, il est également temporel, c'est-à-dire que la fréquence des potentiels d'action (PA) de la fibre afférente est proportionnelle à la fréquence du son : les cycles des PA et du son sont synchrones.

## 2. Composante temporelle de la parole et son décodage

### a. *L'enveloppe, la périodicité et la structure fine*

D'après Stuart Rosen (1992), la parole se compose de trois caractéristiques temporelles principales : l'enveloppe, la périodicité et la structure fine.

#### - L'enveloppe temporelle

Toujours selon Rosen, l'enveloppe correspond aux modulations d'amplitude de fréquences comprises entre 2 et 50 Hz. Elle peut être décrite principalement par l'intensité, la durée, le temps de montée et le temps de descente. Ses principaux corrélats auditifs sont l'intensité sonore, la durée, l'attaque et la décroissance. Les variations basse fréquence de l'enveloppe pourraient véhiculer quatre principaux types d'informations linguistiques : des indices sur la manière d'articuler, des indices sur le

voisement, des indices sur l'identité des voyelles et des indices sur la prosodie. Les modulations de 3 à 4 Hz s'avèrent très importantes car elles correspondent au rythme syllabique.

- La périodicité

La périodicité regroupe les propriétés du signal vocal qui se rapportent à la distinction entre la stimulation périodique et apériodique, ainsi qu'au rythme de la stimulation périodique comprise entre 50 et 500 Hz. Elles donnent des informations principalement sur le mode d'articulation et sur le voisement. Ainsi par exemple les segments apériodiques de la parole peuvent être des indices du mode d'articulation fricative, alors que les aspects périodiques nous renseignent sur le voisement.

La périodicité donne également des informations prosodiques relatives à l'intonation et au stress.

- La structure fine

La structure fine comprend les variations entre 600 et 10 KHz environ. Acoustiquement, elle informe sur le spectre d'un son et contient donc les informations concernant les formants (et transitions formantiques). Le principal corrélat auditif de la structure fine est lié au timbre des sons complexes. Elle peut en outre transmettre au moins deux types d'informations linguistiques : des indices sur le lieu d'articulation et les voyelles, et des indices sur le mode d'articulation et le voisement. Le tableau ci-après représente le rôle des différentes caractéristiques temporelles de la parole sur les contrastes linguistiques, d'après Rosen.

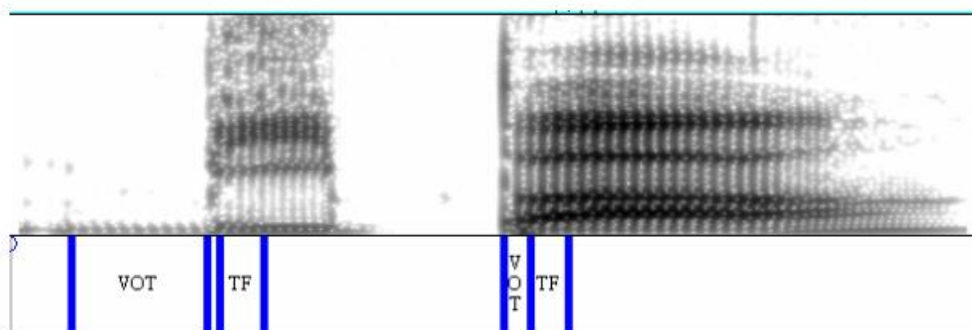
		TEMPORAL FEATURES		
		envelope	periodicity	fine-structure
LINGUISTIC CONTRAST	segmental			
	manner	★	★	*
	voicing	*	★	★
	place			★
	voice quality	*		★
prosodic	tempo, rhythm	★		
	syllabicity	★		
	stress	*	★	
	intonation		★	

**Tableau 1.** Représentation des différentes caractéristiques temporelles de la parole sur les contrastes linguistiques (d'après ROSEN S. 1992)

Dans ce tableau, la taille des étoiles indique la mesure dans laquelle les caractéristiques temporelles interviennent sur les contrastes linguistiques.

*b. Le délai d'établissement du voisement (DEV) ou VOT*

Le VOT (voice onset time) ou délai d'établissement du voisement correspond, pour une consonne plosive, à l'intervalle de temps entre le relâchement de l'air bloqué et le début du voisement. Sa durée est importante, c'est l'indice principal du voisement. Le VOT peut être négatif si le voisement débute avant la fin de l'explosion, nul si la synchronisation est parfaite et positif si le voisement commence un certain temps après la fin de l'explosion. Ainsi les consonnes occlusives sourdes sont caractérisées par un VOT court, alors que les occlusives voisées ont un VOT plus long.



**Figure 2 :** Spectrogramme du non-mot [bipa] (VOT=Voice Onset Time ; TF= Transition Formantique, d'après Jacquet et al. 2006)

*c. Décodage de l'information temporelle par le système auditif*

Elle repose sur la capacité de la fibre du nerf auditif à répondre en synchronie avec l'évolution temporelle du message vocal. La fibre traite donc les informations au fur et à mesure où elles arrivent.

Un nerf auditif sain peut suivre des fluctuations temporelles allant jusqu'à 3000 Hz. La synchronisation neuronale est donc primordiale pour l'enveloppe et la périodicité, alors que la structure fine sera décodée via la tonotopie cochléaire.

*d. Importance de l'information temporelle pour la compréhension de la parole*

Plusieurs études ont porté sur l'importance de l'enveloppe temporelle et ont abouti à la conclusion que la transmission et la réception de l'enveloppe temporelle sont nécessaires (parfois même suffisantes) à l'intelligibilité des signaux de parole. Ainsi, Drullman, Festen et Plomb (1994) ont mis en évidence l'importance des modulations temporelles pour la reconnaissance de la parole. Pour ce faire, ils ont divisé la parole en bandes de fréquences plus ou moins larges et chaque bande est ensuite filtrée avec un filtre passe haut afin de restreindre les fluctuations de l'enveloppe temporelle. Ils ont noté une nette diminution de l'intelligibilité dans le bruit pour des fréquences de coupure inférieure à 16 Hz. Les consonnes, et plus particulièrement les plosives sont plus affectées par un sévère étalement de l'enveloppe que les voyelles.

Shanon et al. (1995) ont peu après montré l'importance de l'enveloppe temporelle en réalisant une expérience dans laquelle l'enveloppe temporelle d'une phrase était utilisée pour moduler en amplitude un signal de bruit blanc. Plus aucune information de structures fines n'est donc présente et la seule enveloppe temporelle a permis une reconnaissance de l'ordre de 50% du message d'origine.

D'après Fullgrabe (2006), il y a une dominance de l'enveloppe temporelle par rapport à la structure fine pour percevoir des signaux de parole dans le silence. La gamme de fréquence entre le 4 et le 16 Hz est donc primordiale pour l'identification de la parole, et il existe un lien direct entre la qualité de l'encodage neuronal de l'enveloppe temporelle et le niveau d'intelligibilité de la parole. Le système auditif humain serait doté de filtres sélectifs de modulation et serait particulièrement adapté aux fluctuations lentes.

## II. La compréhension de la parole chez le sujet presbyacousique

### 1. La presbyacousie

La presbyacousie est une détérioration de l'audition liée au vieillissement des structures auditives périphériques et/ou centrales. Au niveau de l'audiométrie tonale, elle se traduit par une perte bilatérale symétrique, prédominante sur les aigus. Les symptômes sont une diminution de l'intelligibilité (mise en évidence lors de l'audiométrie vocale), avec des plaintes en particulier dans le bruit. La diminution du seuil de perception peut dans un second temps être associée à une intolérance des sons forts (hyperacousie), entraînant un pincement de la dynamique auditive du malentendant. En effet, la perte des CCE diminue la fonction de compression de sonie (mécanisme cochléaire dans lequel l'amplitude et la vibration de la membrane basilaire augmentent de moins en moins quand l'intensité de la stimulation augmente), ce qui engendre une augmentation importante de la sensation subjective du volume sonore (ou sonie) quand l'intensité du son augmente. Dans ces situations, le malentendant a une compréhension qui diminue alors que le son est plus fort et devrait être plus



perceptible (la distorsion de la perception des sons accentuant alors les difficultés de compréhension) : c'est le recrutement.

La presbyacousie sensorielle est due à la perte des cellules ciliées (externe dans un premier temps, puis interne), ainsi que des cellules de soutien. Elle touche en premier lieu les cellules ciliées situées à la base de la cochlée, d'où une perte d'abord sur les aigus. L'atteinte devient progressivement neurosensorielle puisqu'il s'en suit une dégénérescence de certains neurones du fait de la privation sensorielle (les cellules ciliées détruites ne peuvent plus stimuler leurs neurones afférents).

Il existe également une presbyacousie dite striale, correspondant au vieillissement de la strie vasculaire (à l'origine du potentiel de 80 mV dans la scala media, mais aussi responsable de la vascularisation et de la sécrétion d'endolymphe).

La presbyacousie de conduction est quant à elle due à l'altération des propriétés de la membrane basilaire.

Avec l'âge, on observe également une démyélinisation des neurones, et donc une diminution de la vitesse de transmission du signal nerveux. En d'autres termes, l'information met plus de temps à arriver au cerveau, ce qui peut engendrer des difficultés, notamment dans le cas d'une parole accélérée.

Tous ces éléments participent à la dégradation de la perception du message et à son traitement, et engendrent des difficultés de compréhension.

## 2. Influence sur la compréhension de la parole

Les difficultés de compréhension chez le malentendant sont mises en évidence lors de l'audiométrie vocale où on observe une diminution du seuil d'intelligibilité.

Deux aspects en particulier peuvent expliquer la perte d'intelligibilité :

- Le manque d'audibilité des indices vocaux, qui complique la reconnaissance de certains phonèmes.
- L'affaiblissement des capacités psychoacoustiques, comme l'élargissement des filtres auditifs, la diminution de la sélectivité fréquentielle, la distorsion dans le codage de l'enveloppe et la périodicité (dynamique comprimée), la perte de sensibilité de la structure fine (diminution de la précision du codage temporel par le système auditif périphérique et/ou central).

Ainsi, une mauvaise sélectivité fréquentielle par exemple entraîne une mauvaise identification des consonnes, mais également une difficulté de détermination de la fréquence fondamentale du fait de la disparition des pics spectraux des harmoniques. Or on sait que la fréquence fondamentale est un indice important pour le cerveau pour distinguer des voix concurrentes, ce qui impacte la capacité de séparation de voix concurrentes dans le bruit.

En outre, dans une étude de 2006, Lorenzi et al. ont montré que la compréhension d'un signal dans lequel seule la structure fine était préservée était altérée chez le malentendant, alors que les normo-entendants obtenaient de très bons scores. En résumé, le codage de la structure temporelle fine se trouve altéré chez le malentendant, ce qui pourrait expliquer des difficultés de compréhension de ces individus dans le bruit. Autrement dit, lorsque l'enveloppe ne suffit plus pour avoir une bonne intelligibilité (dans un bruit fluctuant par exemple), la capacité à utiliser les indices dans les creux fréquentiels ou temporels (capacité liée à la structure fine de la parole) est fortement diminuée chez le malentendant.

De plus, la perte de la discrimination temporelle (capacité à distinguer les fluctuations énergétiques temporelles), survenant avec le vieillissement, ainsi que la diminution de la capacité d'intégration temporelle (capacité à comprendre le mot en fonction de sa durée) sont deux facteurs supplémentaires expliquant les difficultés que peuvent rencontrer les sujets pour la compréhension dans le cas d'une vitesse d'élocution élevée.

### 3. Compréhension et vitesse d'élocution

De nombreuses études ont été menées sur l'impact de la vitesse d'élocution sur la compréhension de la parole. Ainsi, d'après Picheny et al. (1985), confirmés ensuite par Payton et al. (1994), les phrases prononcées clairement et lentement sont significativement plus intelligibles que celles prononcées en conversation pour les auditeurs malentendants. En 1986, dans une autre étude, Picheny et al. ont montré que la vitesse d'élocution diminue de façon substantielle lors d'un discours clair. Cette diminution est obtenue à la fois en insérant des pauses entre les mots et en allongeant les durées des sons individuels de la parole.

D'après Krause et al. (2002), chez le normo-entendant, le discours clair est le seul mode d'expression qui offre un avantage cohérent en matière d'intelligibilité par rapport au discours conversationnel, et ce y compris pour une vitesse d'élocution normale, ce qui suggère que le discours clair possède des propriétés acoustiques inhérentes qui contribuent à sa meilleure intelligibilité. La même année, Vaughan et al. montrent que le ralentissement est une caractéristique constante de la parole claire, mais que des changements acoustiques spécifiques se produisent en plus de l'insertion de pauses et l'allongement de la durée des sons individuels de la parole. Ces changements comprennent une réduction moindre des voyelles, la libération des

occlusives et des consonnes finales, et une augmentation de l'intensité moyenne quadratique (rms) des sons obstruants produits par la restriction du débit d'air tels que les occlusives et les fricatives. En conséquence, ralentir la vitesse d'élocution s'avère être une conséquence d'une modification acoustique des phonèmes, ce qui améliore l'intelligibilité pour des malentendants et des personnes âgées.

Dans une étude de 2001, Gordon Salant et al. ont cherché à déterminer si les problèmes de compréhension d'un signal de parole accéléré sont attribués à une diminution de la vitesse de traitement de l'information chez la personne âgée, ou à des difficultés de traitement des indices acoustiques. Plusieurs conclusions sont tirées de cette étude. Tout d'abord, chez les personnes âgées, le contexte est très important puisque l'effet de l'âge a été observé pour des chaînes de mots aléatoires mais pas pour des phrases ou des expressions linguistiques dans le cas d'une vitesse non modifiée. C'est à dire que la suppression du contexte augmente la demande cognitive et rend la compréhension plus difficile pour les sujets âgés. D'autre part, les mauvaises performances de la reconnaissance de la parole accélérée seraient dues surtout à l'altération des indices acoustiques des consonnes (plus qu'à celles des voyelles, ou des pauses). Autrement dit, les difficultés rencontrées par les auditeurs plus âgés dans le traitement de la parole rapide seraient le résultat d'une capacité de traitement limitée pour les indices de consonnes brèves, plutôt qu'une diminution de la vitesse de traitement de l'information. Enfin, le sujet âgé serait très désavantagé dans une situation combinant des informations contextuelles pauvres et une vitesse d'élocution rapide.

Des tests ont été mis en œuvre pour évaluer la compréhension dans le cas d'une vitesse d'élocution élevée. Ainsi, en 2010, Gallego, Seldran et Cotton ont travaillé sur un test présentant des listes de Fournier à différentes vitesses à des patients implantés

cochléaires. Ce test s'est avéré être un outil intéressant pour se rendre compte de l'évolution de ces sujets. Dans leur continuité, Amouyal (2011), a mis en place un test de résistivité de l'intelligibilité à la vitesse d'élocution et ses conclusions montrent que les résultats à ce test sont fortement dépendants des caractéristiques propres de chaque individu, notamment de sa perte auditive.

### III. Apport de l'aide auditive

#### 1. Généralités

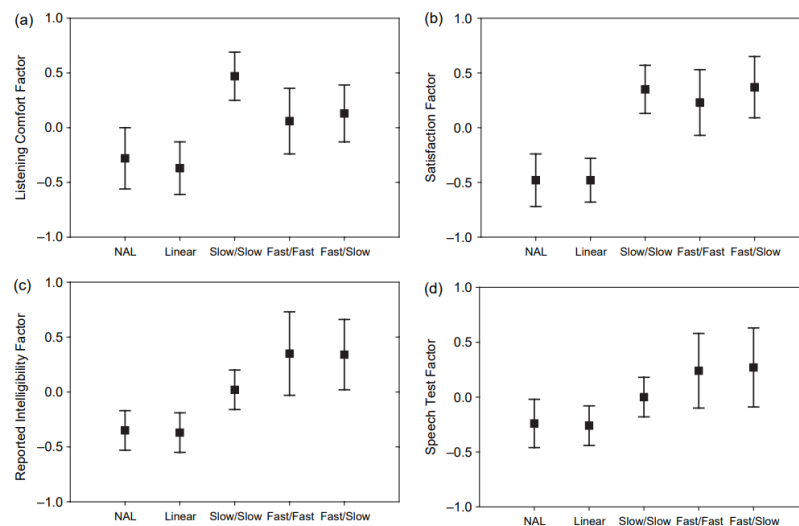
Plusieurs études ont montré que les aides auditives permettent une meilleure compréhension du signal de parole, y compris dans le cas d'une vitesse d'élocution élevée. En effet, l'aide auditive permet en premier lieu de pallier le manque d'audibilité des indices vocaux grâce au gain fréquentiel. Il est plus difficile par contre de pallier l'affaiblissement des capacités psychoacoustiques. Néanmoins, des dispositifs existent pour essayer de corriger au mieux le malentendant. Ainsi la compression va permettre de transférer des signaux normalement perçus pour une dynamique auditive normale vers une dynamique résiduelle du champ auditif réduite chez la personne malentendante, en adaptant l'amplification en fonction de l'intensité du signal. On peut également citer les réducteurs de bruits, qui couplés à un renforcement phonétique, vont avoir pour but de faire ressortir la parole au milieu du bruit. De même, la directivité microphonique (dans le cas de contours) permet l'émergence de la parole dans les milieux bruyants. Nous nous attarderons ici sur la compression, et plus particulièrement sur ses conséquences sur un signal de parole.

## 2. La compression et ses conséquences sur un signal de parole

Une oreille humaine normale est capable de percevoir une large gamme de niveaux sonores, allant de sons très très faibles, à extrêmement forts. La gamme de sons qu'une personne peut entendre correspond à la dynamique auditive. Chez le malentendant, non seulement les sons commencent à être entendus à un niveau plus élevé, mais les sons forts peuvent parfois être rapidement perçus trop fort : leur champ dynamique résiduel est dans ce cas réduit. Un des buts de l'aide auditive est de reproduire une sensation auditive qui se rapproche le plus possible du normo entendant. Un son fort ne sera donc pas forcément amplifié de la même façon qu'un son faible. Ceci est permis grâce à la compression qui amplifiera les sons faibles tout en préservant un niveau d'écoute confortable des sons forts. Autrement dit, elle a pour effet de réduire le gain quand le niveau d'entrée augmente et d'augmenter le gain quand le niveau d'entrée diminue. Il est à noter que ce phénomène s'applique aussi sur les variations de niveau de la voix dans le temps.

Plusieurs paramètres peuvent être réglés dans la compression, comme le  $T_k$  (seuil d'enclenchement) et le  $Cr$  (taux de compression). Il y a également une composante temporelle, qui est donnée par les temps d'attaque ( $T_a$ ) et de retour ( $T_r$ ). Ces constantes de temps ont des valeurs différentes de selon qu'il s'agit d'une compression adaptative, duale ou syllabique. Lorsqu'il y a un signal de parole, il peut y avoir plusieurs types de modulations, lentes ou rapides. Dans le cas d'une compression rapide, ces modulations rapides sont aussi amorties et l'enveloppe temporelle de la voix est dégradée. Il est donc légitime de se poser la question de l'impact des constantes de temps sur un signal de parole et plusieurs études ont été menées sur le sujet.

Dans leur étude de 2006, Gatehouse et al. ont commencé par faire le constat que les résultats obtenus dans des précédentes études sont indéterminés et différent d'une étude à l'autre, et ceci notamment du fait de la diversité des protocoles (avec ou sans bruit de fond, taux de compression parfois très élevés, avec ou sans temps d'acclimatation...). Ils ont alors cherché à travailler sur l'impact des constantes de temps sur plusieurs paramètres en minimisant les biais qui pourraient compromettre les résultats. 50 sujets ont été testés avec des pertes neurosensorielles bilatérales symétriques et 4 données ont été récoltées : l'intelligibilité dans le bruit (mesurée avec le FAAF : Four Alternative Auditory Test) et l'intelligibilité reportée, la satisfaction et le confort d'écoute (tous les trois auto-mesurés avec des questionnaires APHAB, GHABP, SADL et HAPQ). Il apparaît que pour les 4 données récoltées, les résultats de groupe sont clairement meilleurs pour les réglages non linéaires que pour les réglages linéaires (figure 3 ci-dessous).

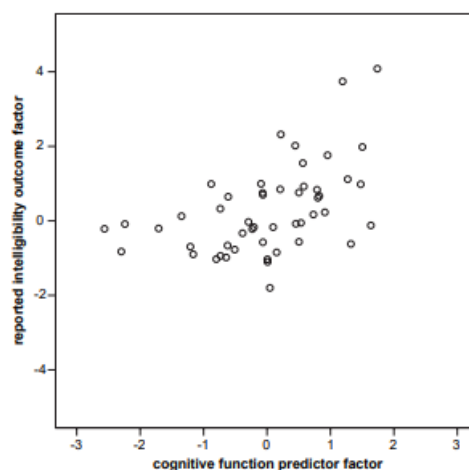


**Figure 3.** Résultats des 4 facteurs étudiés par Gatehouse et al. pour chaque réglage (2006).

Le réglage lent procure un meilleur confort d'écoute que le réglage rapide. Pour la satisfaction, il n'y a pas de différence significative entre les différents réglages non linéaires. Enfin, pour l'intelligibilité reportée et le test vocal dans le bruit, le réglage

rapide est supérieur au réglage lent. Il existe néanmoins de grandes disparités individuelles. On s'aperçoit alors que le réglage lent est plus sûr dans le sens où il est souvent bien classé pour le confort d'écoute et rarement désastreux pour l'intelligibilité reportée ou le test de vocale dans le bruit. Par contre, le réglage rapide donne un score soit optimal, soit désastreux.

Dans un second article de la même année, Gatehouse et al. ont utilisé la même population que celle de l'étude précédente, et ont montré qu'un réglage non linéaire offre de meilleurs résultats avec des audiogrammes inclinés, des champs dynamiques restreints et des environnements auditifs variés. En outre, le bénéfice d'une compression rapide ou lente va dépendre des capacités cognitives de la personne. Pour l'intelligibilité dans le bruit par exemple, le réglage rapide sera préféré si les capacités cognitives sont bonnes. Dans le cas contraire, le réglage lent sera plus optimal. Ci-dessous le graphique représentant le bénéfice additionnel d'une compression rapide sur une compression lente pour l'intelligibilité, en fonction du facteur prédictif des capacités cognitives.



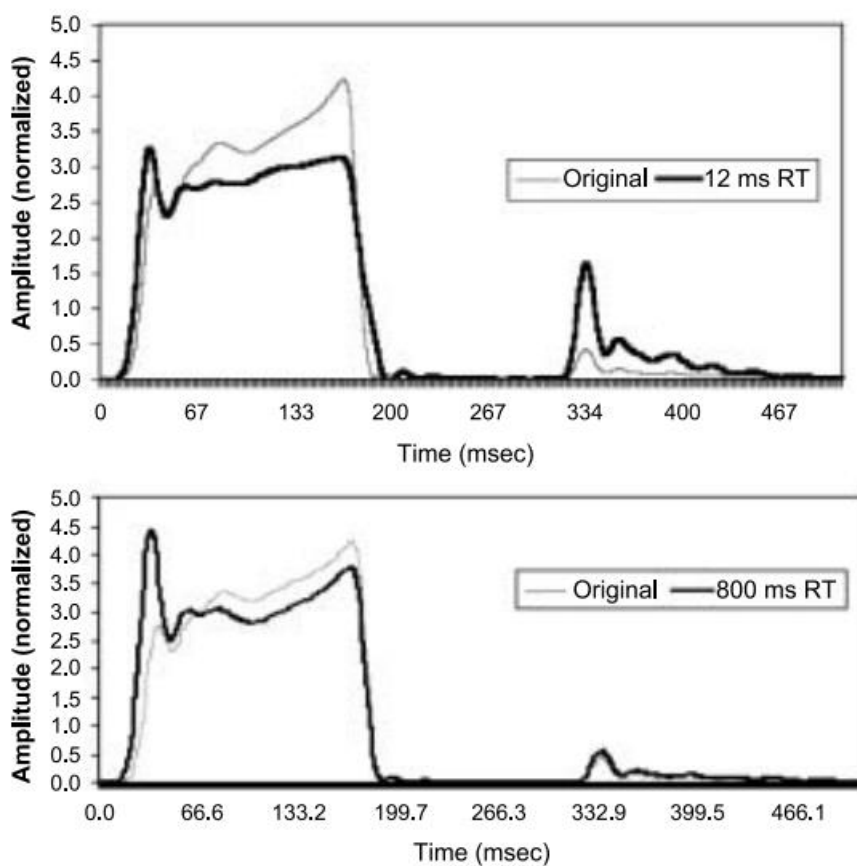
**Figure 4.** Nuage de points représentant le bénéfice additionnel d'une compression rapide sur une compression lente pour l'intelligibilité en fonction du facteur prédictif des capacités cognitives (selon Gatehouse et al. 2006)



Ce résultat est corroboré par Moore (2008) pour qui écouter dans les creux (dans les situations de bruits fluctuants) est facilité par une compression rapide si les personnes ont de bonnes capacités cognitives. Il retrouve également le fait qu'une compression lente est plus sûre dans le sens où les résultats individuels de la compression rapide sont très diversifiés et entraînent des scores d'intelligibilité meilleurs en moyenne mais qui peuvent être soit très bons, soit désastreux. Là encore, pour le confort d'écoute, les systèmes à compression lente sont souvent préférés, même si l'intelligibilité est en moyenne moins bonne. Pour lui, en résumé, le choix de la vitesse de compression va dépendre de l'individu. Une personne qui a du mal à utiliser les indices temporels de la structure fine (TFS) pour la compréhension de la parole va plutôt utiliser les indices de l'enveloppe temporelle. La compression rapide peut perturber l'enveloppe, ce qui peut diminuer la capacité à séparer 2 ou plusieurs voix et diminuer l'intelligibilité de la parole. A ce moment-là une compression lente peut être plus efficace. Par contre, si la personne garde des capacités à utiliser les TFS, celles-ci peuvent être utilisées lors des creux dans le bruit de fond, augmentant alors l'intelligibilité de la parole dans un bruit de fond.

Dans un autre registre, Jenstad et al. (2005) ont réalisé une étude sur 16 participants (dont 4 normo entendants), et portant sur les effets acoustiques en fonction du Temps de retour ( $T_r$ ), ainsi que sur une évaluation de la relation entre le changement acoustique et la reconnaissance de la parole dans le silence. Les stimuli utilisés sont des items VC de tests de syllabes sans sens (seule la voyelle /i/ a été utilisée), présentés à des intensités de 50, 65 et 80 dB SPL. Le taux de compression a été fixé à 3 : 1, le seuil de compression à 45 dB SPL et les temps de retour testés sont de 12, 100 et 800 ms. L'intelligibilité a été mesurée sans compression, ainsi qu'avec une compression aux 3 temps de retour cités précédemment, pour les 3

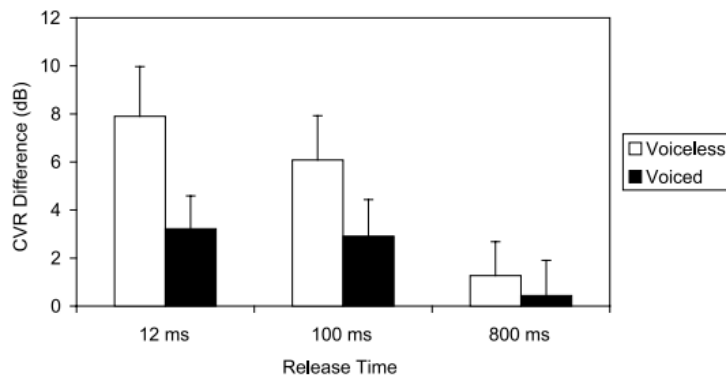
niveaux d'entrée 50, 65 et 80 dB SPL. Les mesures acoustiques étudiées sont l'EDI (l'index de différence d'enveloppe c'est-à-dire l'indice de changement de l'enveloppe temporelle entre deux signaux) et le CVR (Ratio voyelle consonne). En ce qui concerne l'EDI, le Tr a bien un effet significatif et un Tr court a un effet plus important sur l'enveloppe temporelle (ce qui corrobore les résultats de Van Tasell). Ceci est illustré avec la figure ci-dessous, qui représente un exemple de calcul de l'EDI pour la syllabe /ip/ avec deux temps de retour différents.



**Figure 5.** Exemple d'EDI pour la syllabe /ip/ présentée à un niveau d'entrée de 65 dB SPL pour un temps de retour de 12 ms (en haut) et 800 ms (en bas). Le trait fin représente l'amplitude normalisée de l'enveloppe pour la syllabe non compressée et le trait épais l'amplitude normalisée de l'enveloppe avec deux Tr différents. L'EDI calculé est alors de 1.4 pour le Tr de 12 ms et 0.08 pour le Tr de 800 ms (selon Jenstad et al. 2005)

En ce qui concerne le CVR, l'altération n'est pas la même en fonction des phonèmes et les consonnes ne sont pas toutes impactées de la même manière ; l'effet

est plus important sur les consonnes sourdes et sur les plosives et fricatives. La figure 6 ci-dessous représente la différence CVR en fonction du temps de retour pour des consonnes voisées et sourdes.



**Figure 6.** Différence CVR (dB) en fonction du temps de retour pour le paramètre voisement (d'après Jenstad et al. 2005).

En termes de reconnaissance de la parole dans le silence, les résultats de cette étude montrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre les différents temps de retour. En effet, l'auditeur peut utiliser d'autres informations que les indices temporels (les indices spectraux par exemple) pour identifier des syllabes.

Au vu de ces différentes études, il est clair que les Tr des systèmes de compression ont des effets sur le signal de parole. Cela est bien mis en évidence pour la compréhension d'un signal de parole dans le bruit. En outre, même si dans le silence les effets sur l'intelligibilité ne sont pas significatifs, il y a bien une modification des indices acoustiques. Il m'a donc paru intéressant de se poser la question de l'impact du Tr sur l'intelligibilité dans le cas d'une parole accélérée.

## **Partie II : 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. En d'autres termes, la moyenne des seuils de perception pour les fréquences 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz et 4000 Hz ne devait pas dépasser 20 dB HL.

- 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 de la marque Signia ou Rexton, car ces appareils permettent d'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. Dans un premier temps, on donne trois mots à retenir au sujet (clé, ballon, citron). Après s'être assuré que le sujet a bien entendu et compris les mots, nous lui donnons une tâche à effectuer ; le sujet doit alors compléter un cadran vide représentant une horloge en plaçant correctement les chiffres de l'horloge, ainsi que la petite et la grande aiguilles indiquant l'heure préalablement demandée. A la suite de cela, le sujet doit redonner les 3 mots à retenir.

Une première cotation est faite ici, en fonction des résultats obtenus :

- Cotation du test de l'horloge :

Les nombres sont-ils tous présents ? Sont-ils correctement placés ? Y a-t-il une petite et une grande aiguille ? Leurs directions sont-elles convenables ?

Si les 4 items sont bons, le test de l'horloge est considéré comme normal, sinon non.

- Cotation du rappel des 3 mots :

Les 3 mots sont-ils bien rappelés ? Si oui, l'item est considéré comme normal, sinon non. Si les deux items sont normaux, le test s'achève ici, le sujet obtient un score A. Si les deux items sont anormaux, le test s'achève également ici, avec un score D.

Si un seul des 2 items est anormal, le test se poursuit avec 5 questions de repérages spatiaux : quel est le nom de la rue où nous sommes ? Quel est le nom de la ville où

nous sommes ? Quel est le nom du département où nous nous trouvons ? Quel est le nom de la région où nous nous trouvons ? A quel étage sommes-nous ?

- Cotation du test de repérage spatial :

Il est d'un point par bonne réponse. Si le résultat est de 4 ou 5, le score obtenu est B. S'il est inférieur à 4, le score obtenu est C.

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 :

Il s'agit d'un enregistrement avec une voix masculine, utilisé pour l'audiométrie tonale au casque.

- 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. Nous avons remis toutes les phrases avec le même débit syllabique, puis nous les avons accélérées, toujours grâce au logiciel Audacity.

### 3. Logiciel Audacity

Nous avons donc utilisé le logiciel Audacity, qui est un logiciel gratuit permettant la manipulation d'enregistrement sonore.

Dans un premier temps, nous avons enlevé le bruit en scindant la piste stéréo et en supprimant celle correspondant au bruit.

Les phrases n'ayant pas toutes le même débit, nous avons ramené toutes les phrases à un débit de 4 syllabes/sec. Pour ce faire, on compte le nombre de syllabes et on modifie la durée de la phrase. En effet, on a

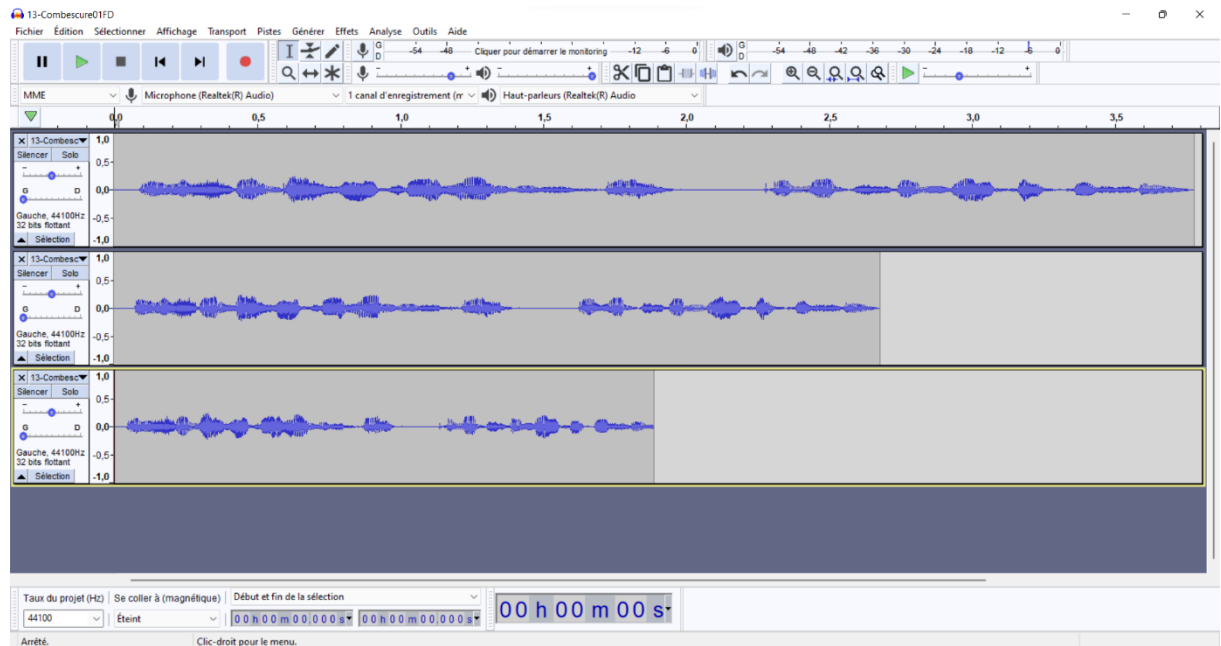
$$\text{Débit} = \text{Nbre de syllabes} / \text{Durée de la phrase}$$

$$\text{Soit Durée de la phrase} = \text{Nbre de syllabes} / \text{Débit}$$

Une fois que nous avons obtenu la même vitesse pour chaque phrase (vitesse x1), nous les avons accélérées 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  $2x\sqrt{2}$ .

L'exemple ci-dessous (figure 7) 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 7.** 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

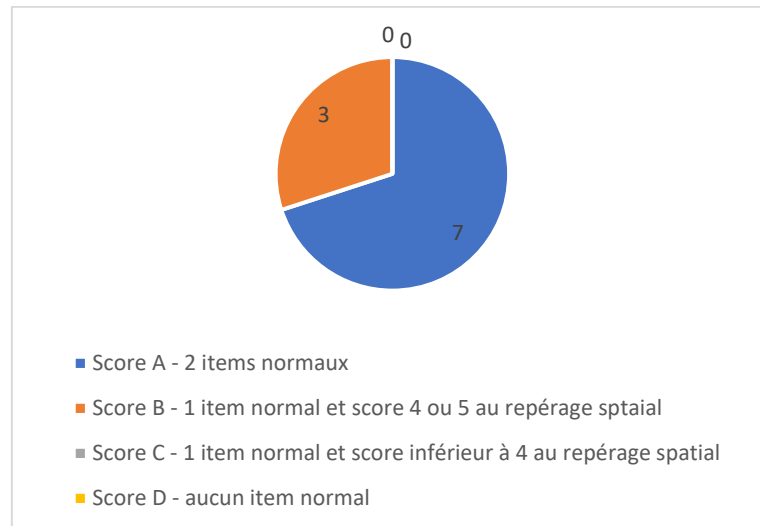
La première partie des tests est commune à la population normo-entendante et malentendante. Nous effectuons tout d'abord l'anamnèse et l'otoscopie, puis le test Codex. Il s'ensuit une audiométrie tonale et vocale au casque, puis le test de résistivité de l'intelligibilité en fonction de la vitesse d'élocution en champ libre. Chez le malentendant, un deuxième rendez-vous nous permet de refaire ce dernier test, mais oreilles appareillées, et avec différents réglages.

#### 1. Anamnèse, Otoscopie et test Codex

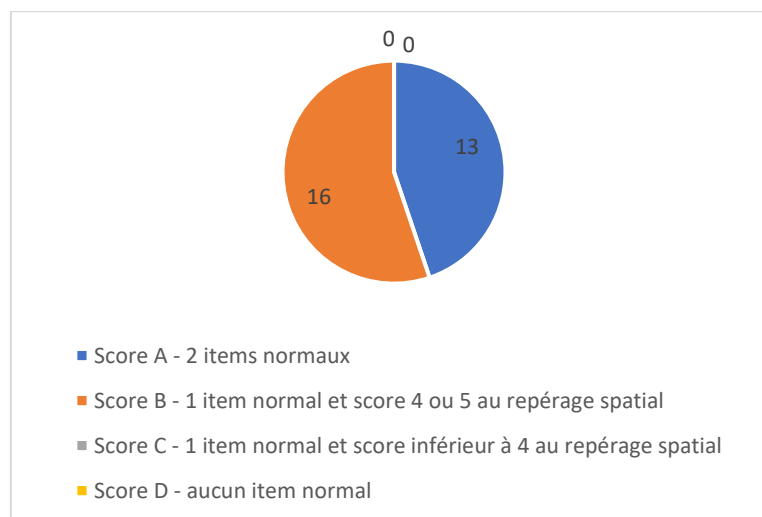
L'anamnèse et l'otoscopie nous permettent de nous assurer des antécédents ORL du patient, et de l'absence de bouchons de cérumen dans le CAE.



Le test Codex nous permet d'avoir un score reflétant les capacités cognitives du sujet. Ci-dessous (figures 8 et 9) sont représentées les répartitions des résultats au test pour la population normo-entendante et malentendante. Aucun test anormal n'a été relevé.



**Figure 8.** 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.

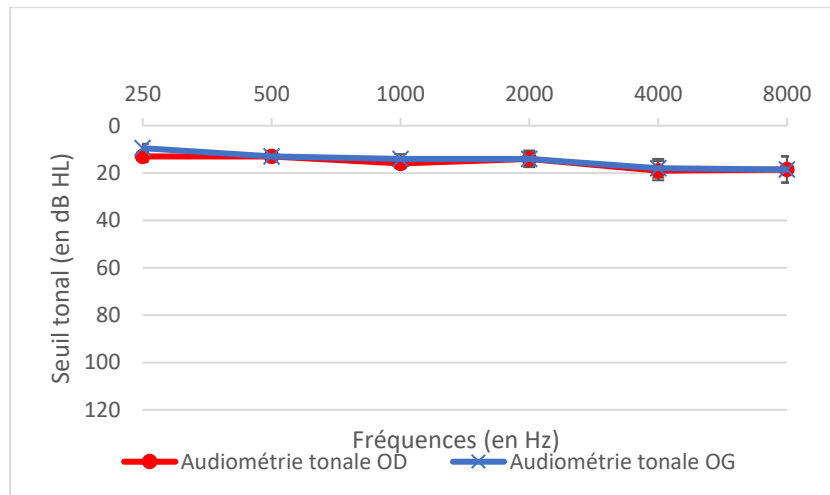


**Figure 9.** Score au test CODEX des 29 sujets la population normo-entendante. Les scores A et B indiquent un test normal et les scores C et D un test anormal.

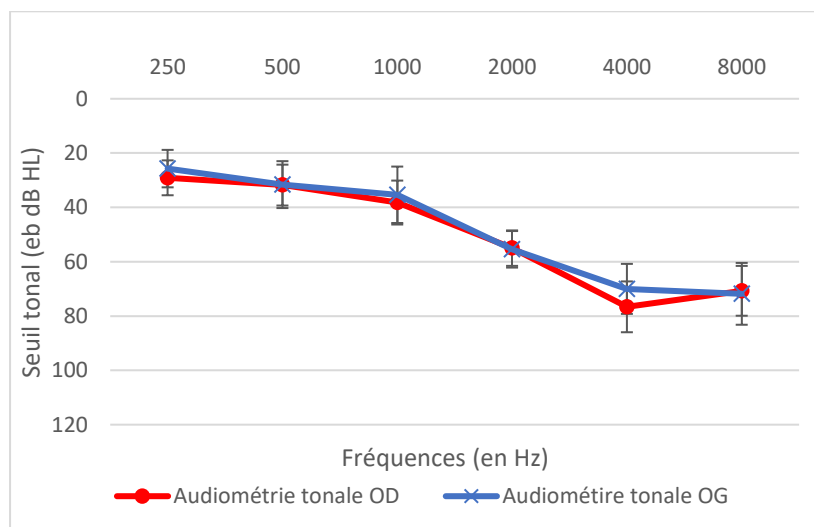
## 2. Audiométrie tonale au casque

Elle est réalisée oreilles séparées, au casque (TDH 39), et on cherche le seuil tonal pour les fréquences 250, 500, 1000, 2000, 4000 et 8000 Hz. Le son utilisé est un

son pur, le sujet doit lever la main dès qu'il perçoit le son, même si celui-ci est lointain. Les figures suivantes (figures 10 et 11) représentent les audiométries tonales de chacune des populations étudiées.



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

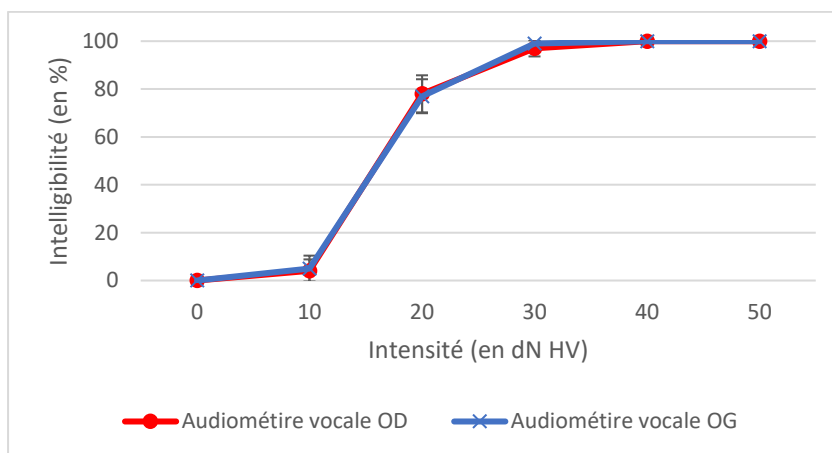


**Figure 11.** Audiométrie tonale moyenne et déviation standard des 29 sujets de la population malentendante.

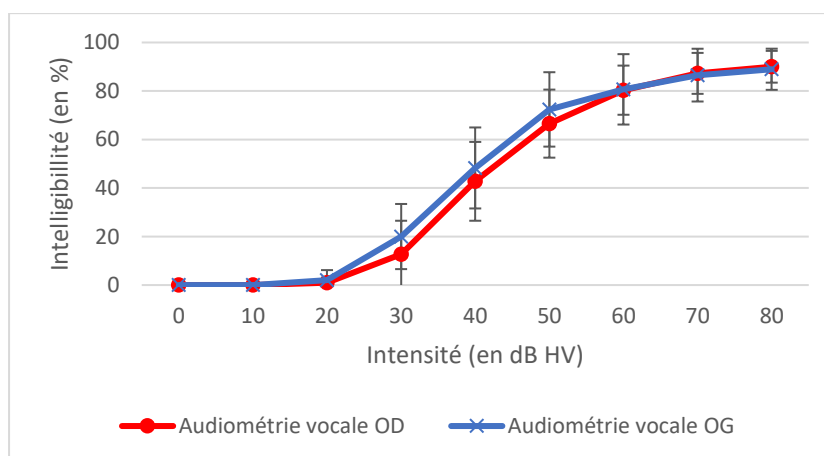
### 3. Audiométrie vocale au casque

Le test est réalisé oreilles séparées, dans le silence, au casque, avec des listes dissyllabiques de Fournier. Les listes de mots sont tout d'abord passées à une intensité confortable, qu'on diminue progressivement. Le sujet doit répéter les mots.

Il a pour but de vérifier la compréhension du sujet, et notamment qu'il n'y ait pas de recrutement important chez le malentendant. Les figures ci-dessous (figures 12 et 13) représentent les audiométries vocales oreilles nues de la population normo-entendante et de la population malentendante.



**Figure 12.** Audiométrie vocale moyenne et déviation standard des 10 sujets de la population normo-entendante.



**Figure 13.** Audiométrie vocale moyenne et déviation standard des 29 sujets de la population malentendante.

#### 4. 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.

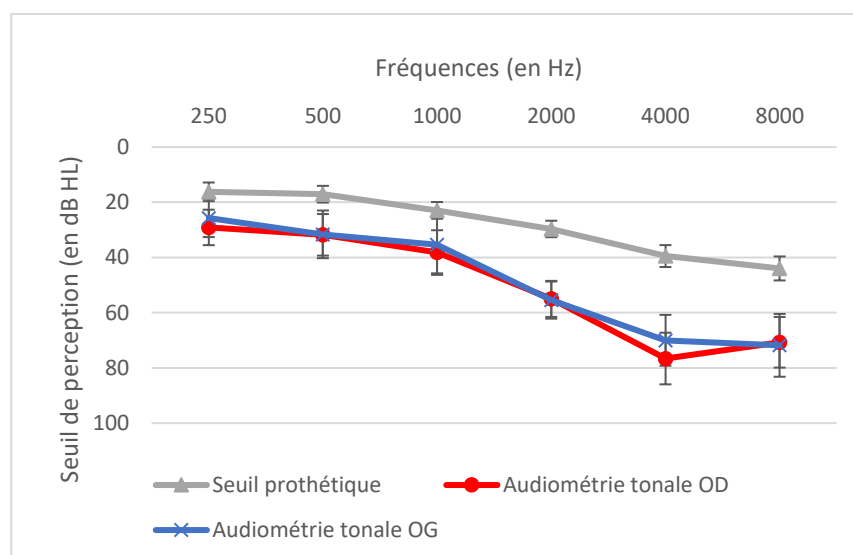
A chaque augmentation de vitesse est associée une augmentation du niveau sonore afin de compenser la perte d'énergie moyenne.

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

## 5. Test de résistivité de l'intelligibilité en fonction de la vitesse d'élocution 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 14.** 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.

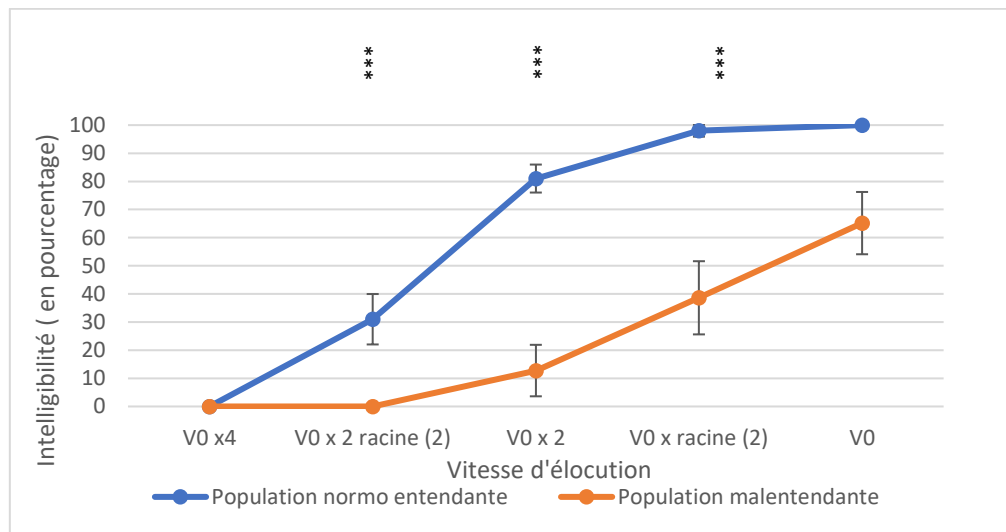
La compression syllabique a un temps de retour rapide, de 90 ms.

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.

## Partie III : 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.

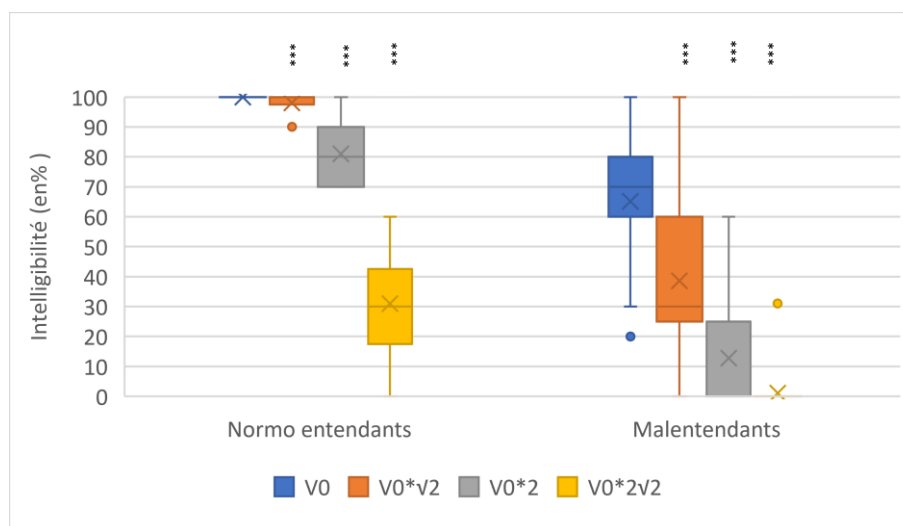


**Figure 15.** Moyenne et déviation standard de l'intelligibilité en fonction de la vitesse d'élocution des 10 sujets de la population normo-entendante et des 29 sujets de la population malentendante

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 supérieure 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  $V0 \cdot \sqrt{2}$ ,  $V0 \cdot 2$  et  $V0 \cdot 2\sqrt{2}$  (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 2.** 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 16.** 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

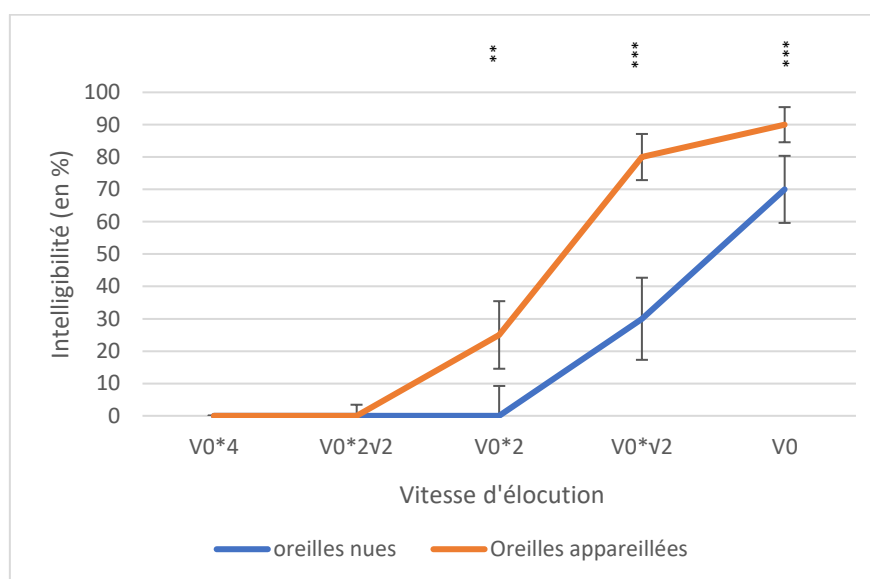
Les conditions de normalités ne sont là encore pas respectées, on réalise donc un test des rangs signés de Wilcoxon afin de comparer les scores obtenus pour les patients malentendants oreilles nues et appareillées (nous avons pris les résultats ici avec le réglage adaptatif puisque c'est le réglage mis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

Les patients ont un meilleur résultat oreilles appareillées que oreilles nues (figure 17). Les médianes de l'intelligibilité passent avec l'appareillage de 70% à 90% (vitesse  $V_0$ ), de 30% à 80% ( $V_0 \cdot \sqrt{2}$ ) et de 20% à 0% (vitesse  $V_0 \cdot 2$ ). Les résultats au test des rangs signés de Wilcoxon (tableau 3 ci-dessous) montrent que ces différences sont significatives.

Paired Samples T-Test					
Measure 1		Measure 2	W	df	p
Oreilles appareillées a $V_0 \times \text{rac}(2)$	-	Oreilles nues a $V_0 \times \text{rac}(2)$	432.500		< .001
Oreilles appareillées a $V_0 \times 2$	-	Oreilles nues a $V_0 \times 2$	205.500		0.002
Oreilles appareillées a $V_0$	-	oreilles nues a $V_0$	340.500		< .001

Note. Wilcoxon signed-rank test.

**Tableau 3.** 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  $V_0$ ,  $V_0 \cdot \sqrt{2}$  et  $V_0 \cdot 2$ .



**Figure 17.** 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

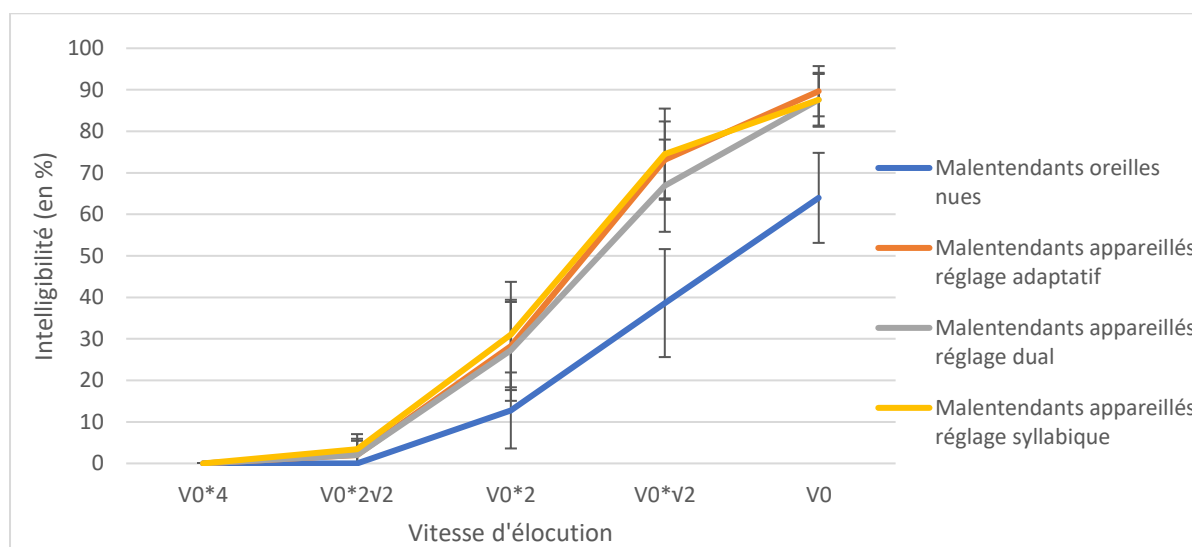


d'élocution. Le tableau ci-dessous nous donnent les p-value pour les 4 vitesses d'élocution et l'analyse faite montre que l'effet du réglage sur l'intelligibilité n'est pas significatif.

Facteurs	$Ch^2(2)$	df	p
Vitesse V0	0.333	2	0.846
Vitesse $V0*\sqrt{2}$	8.667	2	0.013
Vitesse $V0*2$	2.154	2	0.341
Vitesse $V0*2\sqrt{2}$	3.692	2	0.158

**Tableau 4.** Résultats du test de Friedman pour la comparaison des scores d'intelligibilité avec les trois réglages différents aux vitesses  $V0$ ,  $V0*\sqrt{2}$ ,  $V0*2$  et  $V0*2\sqrt{2}$ . (29 sujets appareillés).

Les résultats obtenus sont représentés sur la figure suivante.



**Figure 18.** 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

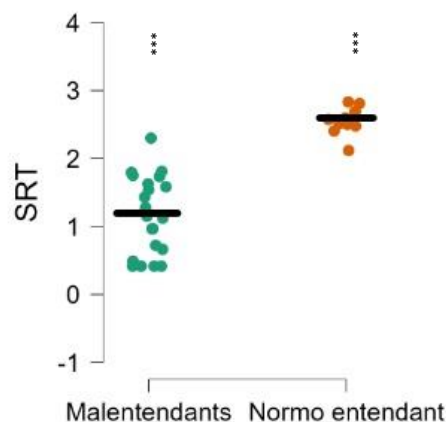
Nous avons cherché le SRT, c'est-à-dire la valeur de la vitesse d'élocution pour laquelle le 50% d'intelligibilité est obtenu. Pour ce faire, j'ai utilisé un tableau Excel issu du site <https://www.sciencegateway.org/protocols/cellbio/drug/hcic50.htm>. Il est à

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 entendant et malentendante

Nous comparons les SRT des populations normo entendant 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 entendant que malentendante puisque la médiane du SRT passe de  $1,150 \cdot V_0$  à  $2,543 \cdot V_0$  ( $w = 1.000$  ;  $p < 0.001$ ).



**Figure 19.** 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).

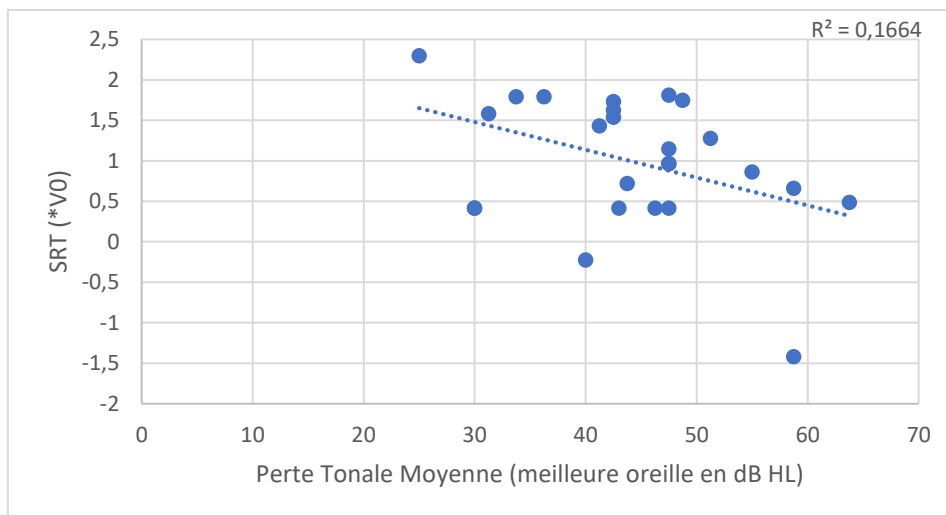
## 2. Influence de l'âge et de la perte auditive

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 ( $r = -0,408$  ;  $p = 0,043$ ). Le tableau 5 ci-dessous nous donne la matrice de corrélation.

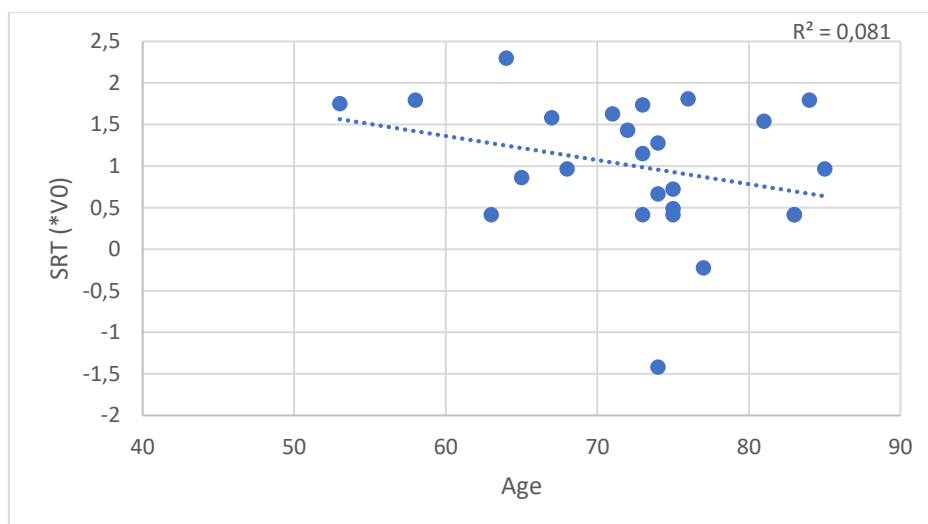
Variable		SRT	Perte Tonale	Age
1. SRT	Pearson's r	—		
	p-value	—		
2. Perte Tonale	Pearson's r	-0.408	—	
	p-value	0.043	—	
3. Age	Pearson's r	-0.285	0.005	—
	p-value	0.168	0.981	—

**Tableau 5.** 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 ( $t = -1,424$  ;  $p = 0,168$  ;  $R^2 = 0,081$ ), alors que la perte tonale moyenne apparait comme un prédicteur significatif ( $t = -2,143$  ;  $p = 0,043$  ;  $R^2 = 0,166$ ). Les nuages de points ci-dessous représentent le SRT en fonction de ces deux facteurs.



**Figure 20.** SRT en fonction de la perte tonale moyenne et droite de régression linéaire ( $R^2=0,1664$ ) des 25 sujets.



**Figure 21.** SRT en fonction de la perte tonale moyenne et droite de régression linéaire ( $R^2=0,1664$ ) 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

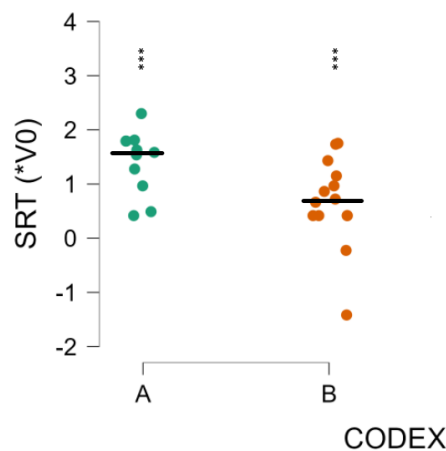
A à 0,693 pour le groupe B. Ci-dessous sont représentés les nuages de points correspondants.

Independent Samples T-Test ▼

	W	df	p
SRT	122.500		0.013

Note. Mann-Whitney U test.

**Tableau 6.** Résultats du test de Mann-Whitney comparant le SRT des populations malentendantes ayant un score CODEX A et B.

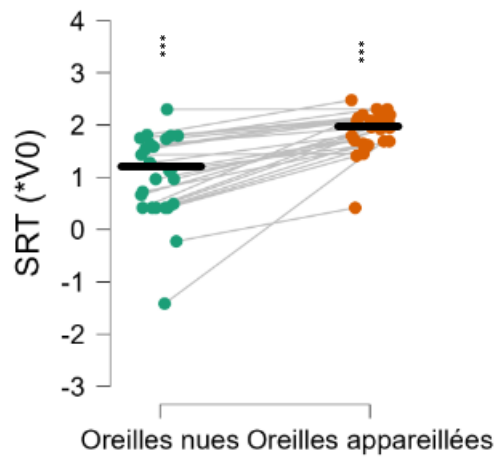


**Figure 22.** Illustration du test de Mann-Whitney avec des nuages de points et la médiane du SRT en fonction du résultat au test CODEX, population malentendante (25 sujets).

#### 4. Impact de l'appareillage

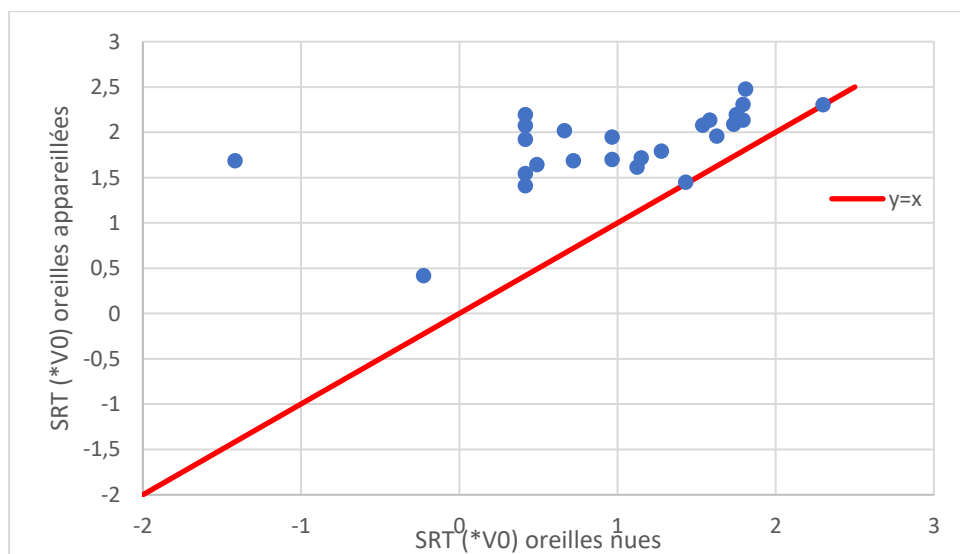
Nous cherchons ici l'impact de l'appareillage sur le SRT. Pour cela, la condition de normalité n'étant pas respectée, on réalise un test des rangs signés de Wilcoxon.

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  $1,150 \cdot V_0$  chez les sujets oreilles nues, à  $1,958 \cdot V_0$  lorsqu'ils sont appareillés. Cette différence est significative ( $w = 325$  ;  $p < 0,001$ ). Ci-dessous les nuages de points du SRT.



**Figure 23.** 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).

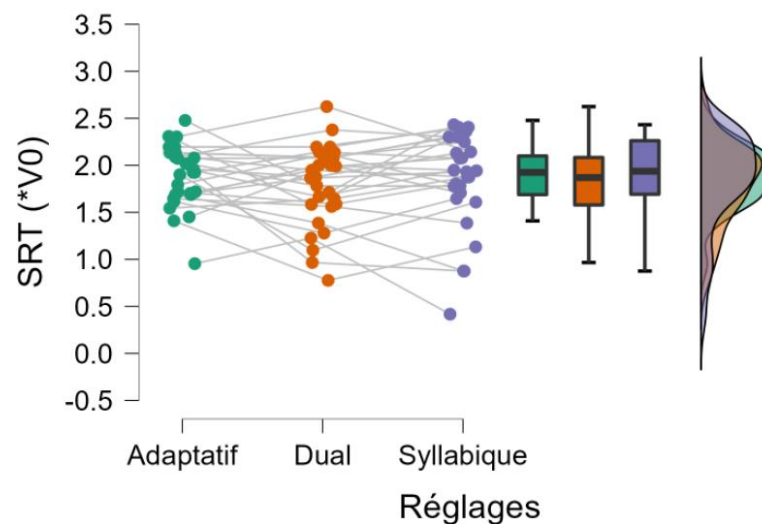
La figure ci-dessous représente le SRT des oreilles appareillées en fonction du SRT oreilles nues, et la droite d'équation  $y=x$ . Hormis deux patients qui sont proches de la droite et n'ont pas d'amélioration du SRT lorsqu'ils sont appareillées, les SRT oreilles appareillées sont supérieurs au SRT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



**Figure 24.** 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 du SRT entre les 3 réglages ( $\chi^2(2) = 1,500$  ;  $p = 0,4472$ ).



**Figure 25.** 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 ( $\rho = 0,392$  ;  $p = 0,053$ ). La matrice de corrélation est donnée dans le tableau ci-après.

Variable		Progres	Perte tonale	Age
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	—

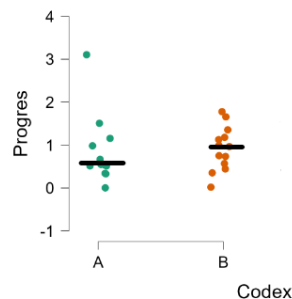
**Tableau 7.** Matrice de corrélation de Spearman étudiant la corrélation entre les progrès et l'âge et la perte tonale.

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 ( $w=58$  ;  $p=0,295$ ).

	W	df	p
Progres	58.000		0.295

Note. Mann-Whitney U test.

**Tableau 8.** Test de Mann-Whitney étudiant la relation entre les progrès et les résultats obtenus au CODEX



**Figure 26.** 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).



## ***Partie IV : 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  $1,150 \cdot V_0$  chez les malentendants à  $2,543 \cdot V_0$  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  $1,584 \cdot V_0$  pour le groupe A, à  $0,693 \cdot V_0$  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  $1,150 \cdot V_0$  chez les sujets oreilles nues, à  $1,958 \cdot V_0$  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 et le CVR, 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 compresse 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.

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 ? Il y a encore du travail sur le sujet...

VU et PERMIS D'IMPRIMER

LYON, le 21 Octobre 2022

Le Maître de Mémoire

Le Directeur de l'Enseignement

Monsieur Xavier THEVENIN

David COLIN

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Thevenin', enclosed within a large, horizontal, hand-drawn oval shape.

## 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) Ardoint 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 presbycousiques 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. Corrélats 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 presbycusie 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.