

Université Claude Bernard  Lyon 1

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LA READAPTATION

Directeur Professeur Jacques LUAUTE

**APPAREILS AUDITIFS DE CLASSE I ET II : ENREGISTREMENTS EN
CONDITIONS REELLES**

MEMOIRE présenté pour l'obtention du
DIPLOME D'ETAT D'AUDIOPROTHESISTE

Par

ALI MEHIDI Inès

Autorisation de reproduction

LYON, le

20/10/2023

David COLIN

N° 981

Responsable de l'Enseignement



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 LUAUTE Jacques

Comité de Coordination des
Etudes Médicales (CCEM)
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

REMERCIEMENT :

Je tiens à adresser mes remerciements :

A Monsieur David COLIN, mon maître de stage et mon maître de mémoire, pour son enseignement, sa patience et son accompagnement dans l'élaboration et la réalisation de ce mémoire.

A Yohan VILLALON, pour l'ensemble des conseils qu'il a pu me donner.

A Romain BONAZZA, audioprothésiste DE, qui m'a aussi beaucoup appris au cours de ma deuxième année.

A Anne-Lise RAMA et Aurélie MERITTO, assistantes audioprothèses, pour leur gentillesse et l'aide qu'elles ont pu m'apporter.

A mes parents et mes sœurs pour m'avoir soutenue et avoir toujours été là.

RESUME :

Nous réaliserons les tests avec 4 marques d'appareils différentes : PHONAK, SIGNIA, OTICON et STARKEY. Ainsi, notre étude présente différents **buts**. Tout d'abord, les appareils de classe II sont censés être plus performants que les appareils de classe I, justifiant ainsi leur prix plus élevé, et ce notamment, car ils possèdent davantage d'algorithmes de gestion de l'environnement et davantage de canaux de réglages. De ce fait, notre but premier est de comparer **simultanément** les 2 appareils dans une **même situation d'écoute à un même instant t**.

Ainsi dans un premier temps, nous allons tenter **de vérifier** cela au sein d'une même marque d'appareil. Pour cela nous allons tester 3 programmes, le **programme automatique** c'est-à-dire celui que préconise le fabricant, un programme manuel caractéristique de la situation « parole dans le bruit » que l'on laisse réglé par défaut et un dernier programme **manuel** aussi caractéristique de la situation « parole dans le bruit » mais cette fois-ci en réglant au maximum l'algorithme traitant le bruit ambiant ainsi que le mode microphonique permettant une focalisation optimale de la parole. Dans un premier temps, nous laissons ces programmes avec le **gain prescrit par le fabricant**. Cela nous permettra de mettre en exergue la stratégie de réglage fabricant, de nous rapprocher de la pratique de la majorité des audioprothésistes et enfin de mener une étude comparative intra-marque. Ensuite, dans une autre session de réglage, nous effectuerons la même procédure mais en réglant chacun des programmes, **autant que possible, avec le même gain** (nous avons accordé le gain de classe II sur celui du classe I, car ceci est plus simple en vue de la différence du nombre de canaux de réglages) afin que les différences observées soient dues aux réglages des algorithmes et/ou du mode microphonique et non à une différence importante de gain.

Les situations bruyantes sont celles qui nous intéressent le plus car elles demeurent celles pour lesquelles le patient éprouve le plus de difficulté à comprendre et à pouvoir bénéficier d'un certain confort d'écoute. Ainsi, nous allons effectuer nos enregistrements dans différents environnements sonores : **au restaurant, dans la rue, en voiture, et dans le vent.** Pour chaque situation testée, nous aurons in fine les enregistrements aux réglages fabricants et ce pour lesquels le réglage entre les deux appareils est le plus proche possible.

Nous posons l'hypothèse que la gestion du bruit et de la parole sera plus effective avec un appareil de classe II. Nous effectuerons nos tests avec l'appareil de classe II le plus avancé, afin de mettre en exergue autant que faire se peut la différence de traitement de ces 2 appareils.

Nous analyserons nos enregistrements à l'aide de figures telles que l'oscillogramme, le spectre et le spectrogramme obtenu à l'aide du logiciel Matlab.

Tables des matières :

I.	INTRODUCTION.....	6
II.	CONTEXTE THEORIQUE	8
A.	Classification des aides auditives par l'arrêté du 14 novembre 2018	8
B.	Classification des aides auditives.....	10
III.	Définition du RSB	11
IV.	Les conséquences d'une surdité de perception neurosensorielles.	12
A.	Mécanisme actif et passif de la membrane basilaire : rôle dans la discrimination fréquentielle 12	
B.	Le codage de la fréquence	14
V.	Répercussion sur l'intelligibilité d'un milieu bruyant.....	16
VI.	La directivité des microphones	18
A.	Microphone directionnel de premier ordre	19
B.	Les microphones directionnels adaptatifs	20
VII.	Les réducteurs de bruits.....	21
A.	Les détecteurs de modulation.....	22
B.	La réduction adaptative du bruit à canaux multiples (Chung 2004)	24
C.	Les réducteurs de bruits synchrones	25
D.	Réducteur de bruit par modification spectrale à court terme	25
E.	Les réducteurs de bruit utilisant l'écoute binaurale	28
	PARTIE EXPERIMENTALE	29
I.	Matériel et méthode.....	29
A.	Objectifs de l'étude	29
B.	Matériel utilisé.....	30
C.	Environnement sonore	33
D.	Montage des enregistrements sur Ableton Live 11	36
E.	Scènes sonores	37
F.	Réflexions menées pour le choix du stimulus	38
G.	Appareils auditifs testés	40
II.	RESULTATS.....	53
III.	DISCUSSION	86
IV.	CONCLUSION	92
V.	BIBLIOGRAPHIE	93
VI.	ANNEXE	99

I. INTRODUCTION :

« En 2019, la mesure 100 % Santé a distingué les aides auditives de classe I, qui relèvent de l'offre 100 % Santé et sont soumises à un prix limite de vente et les aides auditives de classe II à prix libres » (site Ameli). Depuis le 1^{er} janvier 2021, les aides auditives de classe I sont totalement prises en charge par la caisse d'assurance maladie obligatoire et les organismes complémentaires, sans reste à charge pour les patients disposant d'un contrat responsable.

Les appareils de classe II se distinguent notamment par des fonctionnalités additionnelles telles que le Bluetooth et le fait qu'ils peuvent être rechargeables. Ils possèdent aussi davantage de canaux de réglages dans les fréquences graves, médiums et aiguës permettant de régler le gain plus finement. Enfin, ils possèdent des options de réglages avancées, avec des algorithmes de réduction du bruit qui fonctionnent dans certains cas de manière conjointe avec un mode microphonique donné. Cela a donc pour but qu'ils puissent s'adapter à diverses situations d'écoute. Ces algorithmes se veulent donc apporter un confort d'écoute et améliorer l'intelligibilité des patients, particulièrement dans les situations bruyantes car elles demeurent celles dont ils se plaignent le plus.

Ainsi, certains fabricants ont produit de nouvelles technologies dont certaines sont présentes uniquement pour les appareils de classe II. Ces dernières devraient permettre de réduire **différents types de bruits (continus, transitoire et de vent) afin de favoriser l'émergence de la parole et le confort d'écoute.**

S'il semble ne faire aucun doute que la technologie rechargeable, le Bluetooth et le nombre de canaux de réglages supplémentaires présent dans les appareils de classe II apportent de réels avantages, tant en termes de manipulation que de qualité d'écoute, des divergences persistent quant aux bénéfices apportés par les appareils de classe II par rapport à ceux de classe I en termes d'algorithme de gestion du bruit, notamment en milieu bruyant. En effet, alors que certains tests montrent des performances similaires entre les prothèses auditives de classe I et de classe II dans diverses situations d'écoute (UFC que choisir- 8 mars 2020), d'autres parviennent à mettre en évidence des améliorations de performances dans le bruit. Il existerait ainsi, pour les **fabricants** Phonak, Widex, Starkey, Bernafon et Signia « un écart de performance moyenne de 2 à 4 dB de rapport signal/bruit entre les appareils de Classe I et de Classe II » (X. DELERCE juin 2020).

De plus, **il arrive souvent lors de la période d'essai, que le patient ne sente pas réellement une amélioration notable entre les appareils de classe I et II, particulièrement dans le bruit.**

Ainsi, **le but** est **ici d'observer et d'objectiver** les différences de traitement entre un appareil de classe I et II, dans une même situation d'écoute et **d'analyser** l'amélioration effective ou non apportée par ces algorithmes dans diverses situations et ce en **condition réelle** d'utilisation. Nous allons donc tenter de répondre à diverses questions : L'observation de nos pistes d'enregistrements nous permettent-elles de mettre en exergue une différence de traitement d'une même situation sonore, entre un appareil de classe I et un appareil de classe II, en présence et en l'absence de parole ? L'écoute et l'analyse de nos enregistrements nous permettent-elles de mettre en évidence une différence distincte de traitement ? Quelles conditions de tests et quels environnements sonores nous apportent les effets les plus marquants ?

II. CONTEXTE THEORIQUE

D'après le SNDS et l'INSEE, environ 6 millions de personnes souffriraient d'une déficience auditive. Cependant, seulement 35% d'entre elles seraient effectivement appareillées. L'audition demeure cependant un enjeu de santé publique. En effet, la perte auditive a de nombreuses conséquences tant sur la vie professionnelle, personnelle que sociale. Un des principaux freins de l'appareillage est son coût. La réforme du 100% santé se veut donc être une alternative permettant au plus grand nombre de personnes malentendantes de répondre à leur besoin de s'appareiller.

L'application de l'arrêté du 14 novembre 2018, instaure aux fabricants de soumettre un dossier technique concernant les appareils de classe I et II. « Les aides auditives sont classées en deux groupes (classe I et classe II) selon leurs caractéristiques techniques. La classification dépend de la présence et du nombre d'options » (arrêté du 14-11-2018). Elle permet aussi une augmentation de la prise en charge et vient renforcer les obligations imputées aux audioprothésistes.

A. Classification des aides auditives par l'arrêté du 14 novembre 2018

Un ensemble de spécificités techniques sont requises par les aides auditives pour prétendre appartenir à l'une des deux catégories de classe. C'est ce que l'on nomme les **spécifications techniques minimales** que nous allons regrouper sous forme de tableau.

Caractéristiques minimales communes aux appareils de classe I et II	
Système d'amplification	<ul style="list-style-type: none"> - Une amplification d'au minima 30 dB (sauf pour les pertes profondes de plus de 90 dB où l'amplification doit être de plus de 70 dB avec les contours d'oreilles dit surpuissants) - Un dispositif d'abaissement fréquentiel non linéaire ou en d'autres termes la compression fréquentielle permettant de décaler des fréquences aiguës non perçues vers des fréquences plus graves, qui elles le sont. - Un système permettant d'ajuster les gains d'au moins 3 niveaux d'entrées : il s'agit de la compression en intensité du signal - Une distorsion inférieure à 3% pour les fréquences 500, 800 et 1600 Hz.
Directivité	<ul style="list-style-type: none"> - Une directivité microphonique automatique permettant au microphone de passer automatiquement du mode omnidirectionnel au mode directionnel, en fonction de l'environnement sonore afin de privilégier le signal en provenance de l'avant
Réducteur de bruit	<ul style="list-style-type: none"> - Un réducteur de bruit statique (élimine le bruit de fond des microphones), qui permet d'identifier un bruit d'un niveau et d'une bande de fréquences définies et de l'atténuer sélectivement dans les bandes de fréquences où il est présent.
Systèmes	<ul style="list-style-type: none"> - Un système anti-Larsen par opposition de phase ou une autre technologie anti-Larsen ayant démontré qu'elle n'était pas inférieure au système par opposition de phase. - 12 canaux de réglages minimum (diminués à 8 canaux si associés à cinq options de la liste A ci-après). - Au moins 2 programmes différents correspondants à : un environnement calme, un environnement bruyant. - Un Data Logging soit un système d'enregistrement des données permettant l'enregistrement directement dans les aides auditives de certaines données (temps de port des appareils et différents environnements sonores dans lesquels il s'est activé).8 - Un indice d'étanchéité d'au moins IP57. - Un système de limitation du niveau de sortie maximum MPO permettant d'assurer que le niveau de sortie maximum ne dépasse pas les limites de la dynamique auditive résiduelle.

Tableau 1 : caractéristiques minimales communes des appareils de classe I et II

B. Classification des aides auditives

La classification des aides auditives de classes 1 et 2 est rendue possible par la présence d'un certain nombre d'options (Légifrance, 2018) :

- Classe I : une aide auditive de classe I doit comporter au moins trois options de la liste A.
- Classe II : une aide auditive de classe II doit comporter au moins 6 options de la liste A, et au moins une option de la liste B.

	Aide auditive de classe I	Aide auditive de classe II
Liste A	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Système générateur de signaux ajustables permettant la mise en place de thérapies sonores pour le traitement de la perception des acouphènes ➤ Une connectivité sans fil (fonction télécommande et/ou Bluetooth) ➤ Un réducteur de bruit du vent ➤ Une synchronisation binaurale permettant une synchronisation du traitement du son entre les deux oreilles droites et gauches. ➤ Une directivité adaptative des microphones ➤ Une bande passante élargie $\geq 6\ 000$ Hz ➤ Une fonction "apprentissage de sonie" permettant l'enregistrement des modifications de volume apportées par l'utilisateur ➤ Un réducteur de réverbération 	
Liste B	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bande passante élargie supérieure ou égale à 10 000 Hz ➤ 20 canaux de réglages minimums. ➤ Réducteur de bruit impulsionnel réduisant les bruits forts et brefs, d'une durée inférieure à 300 ms. ➤ Batterie rechargeable avec chargeur. 	

Tableau 2 : options permettant de catégoriser les aides auditives de classe I et II

III. Définition du RSB

Le RSB permet d'exposer l'émergence du signal de parole par rapport à celui du bruit ou inversement en fonction du rapport signal sur bruit. Il constitue un « indicateur de la qualité de la transmission d'une information » (Wikipédia).

Le rapport signal sur bruit correspond pour un signal donné, au rapport entre la puissance du signal d'intérêt c'est-à-dire celui qui contient l'information utile, souvent la parole, sur la puissance du signal bruité constituant le bruit de fond. La puissance est exprimée en Watt et le RSB est donc sans unité. Cependant, le RSB est souvent exprimé en décibel : $RSB \text{ (en dB)} = 10 \log_{10} (P_s/P_b)$ avec P_s la puissance moyenne de la parole et P_b la puissance moyenne du bruit.

Contrairement à ce que nous pourrions penser, les RSB que nous rencontrons le plus quotidiennement sont positifs. En effet, une étude de Smeds et al. (2015) a analysé le RSB correspondant à l'environnement sonore rencontré par plusieurs personnes sur quelques jours. Ils en ont conclu qu'en réalité, peu d'environnements sonores avaient un RSB négatif ni même proche de 0 dB. Une seconde étude, celle de Wu et Al. (2018), a étudié 894 conditions sonores différentes et il leur est apparu que la plus grande partie des RSB était comprise entre 2 et 14 dB (62.9 %) et que seulement 7.5 % des situations présentaient un RSB négatif.

Cependant, que ce soit pour une personne normo-entendante (NE) ou malentendante (ME) la compréhension de la parole dans le bruit est plus difficile que celle dans le calme. Néanmoins, elle l'est davantage pour les personnes ME car une étude de Plomb (1994) a mis en exergue le fait que, en comparaison avec celui des personnes normo-entendantes, le RSB d'une personne souffrante d'une déficience auditive doit être supérieur de 3 à 6 dB.

IV. Les conséquences d'une surdité de perception neurosensorielles.

Pour ce type de surdité, nous avons une atteinte des cellules ciliées de la cochlée ou des voies nerveuses.

Cela se traduit par une augmentation des seuils de perception liminaire c'est-à-dire que l'intensité du son aura besoin d'être plus forte pour commencer à être perçue. De plus, nous avons aussi une atteinte des seuils supraliminaires : la dynamique résiduelle du ME sera alors « pincée ». En effet, la réduction de la dynamique aura pour conséquence que les seuils subjectifs d'inconfort auront une valeur moins importante que ceux d'un NE. Il va donc falloir **protéger** l'oreille des sons forts en **abaissant** le MPO et en **comprimant** pour amplifier les sons faibles afin qu'ils soient entendus et ne pas trop amplifier les sons forts qui sont déjà perçus fort par le patient. Ainsi, nous comprenons que dans un environnement bruyant, la compréhension de la parole s'avère être particulièrement difficile.

A. Mécanisme actif et passif de la membrane basilaire : rôle dans la discrimination fréquentielle

La cochlée est responsable de l'encodage des signaux envoyés au cerveau, qui s'effectue de deux manières très différentes : spatialement et temporellement (Hartmann, 2013). La mise en mouvement du liquide **fait vibrer la membrane basilaire sur laquelle repose l'organe de Corti**. La membrane basilaire est **étroite à la base et large à l'apex** : elle **vibre différemment suivant si l'on a un son grave (apex) ou aiguë (base)**. C'est ce que l'on appelle la **tonotopie de la membrane basilaire**. Ces propriétés structurales sont appelées **propriétés passives de la membrane** : elles déterminent son profil de vibration. Les mouvements mécaniques issues de l'oreille moyenne vont être à l'origine de mouvement liquidien dans la cochlée entraînant ainsi des vibrations en un point précis de la membrane basilaire **correspondant à la fréquence de stimulation**.

Cela va entraîner la dépolarisation puis la contraction des CCE dont les stéréocils sont implantés dans la membrane tectoriale. Leurs propriétés contractiles permettent d'amplifier le mouvement en un point précis de la membrane basilaire **pour une fréquence donnée et pour des niveaux d'intensité faibles à modérés (Fillon, 2004)** : ce mécanisme actif permet d'affiner la sélectivité fréquentielle et amplifie de 50 dB la vibration de la membrane basilaire par rapport à la tonotopie passive. Cela va enfin permettre la dépolarisation des CCI (qui transforment ce signal mécanique en signal électrique) à l'origine des PA. Ces signaux électriques se propagent ensuite vers les voies nerveuses.

La tonotopie passive c'est-à-dire le codage spatial des fréquences sur la MB **est conservé à tous les niveaux de la voie auditive centrale**. Cela va permettre une préservation de l'information fréquentielle jusqu'au cortex auditif primaire.

Cette MB va donc être capable de réaliser une **décomposition fréquentielle d'un son complexe**. Elle va aussi être capable de **coder l'intensité** du son car plus le son est faible et moins la MB va vibrer de manière ample et inversement.

La cochlée est assimilée à une série de filtres passe-bande (Fletcher, 1940). Ces filtres sont adjacents les uns aux autres. Plus la fréquence considérée sera importante, plus la largeur du filtre le sera. Cela signifie que **plus on va aller dans les aigus (apex), et plus les filtres vont être larges** et cela influe sur la résolution fréquentielle du système auditif.

La bande passante des filtres est élargie autour de leur fréquence centrale, lorsqu'il y a une altération des cellules sensorielles de l'audition de telle sorte que deux sons de fréquences proches seront perçus comme un seul et même son car ils appartiendront au même filtre auditif dû au fait de l'élargissement du filtre.

De plus, plus le niveau de stimulation est important, plus les filtres auditifs seront larges (Fillon 2004). En effet, plus on stimule à forte intensité, plus le nombre de cellules sensorielles stimulées au niveau d'une zone donnée de la membrane basilaire sera importante. Cela va donc stimuler une zone plus large de la membrane basilaire et détériorer de nouveau la sélectivité en fréquence déjà altérée par l'élargissement dû à la détérioration des CCE (Christian Gelis, 1993).

Ainsi, en cas d'atteinte des CCE, nous aurons une diminution de la sensibilité aux sons faibles et de la fitness de la sélectivité fréquentielle (Fillon, 2004).

Ainsi le bruit ambiant devient très pénalisant car les filtres sont moins sélectifs que si les CCE n'étaient pas atteintes. Ainsi, on comprend que l'apport de gain par l'ACA peut être insuffisant voire délétère à la sélectivité fréquentielle.

B. Le codage de la fréquence

Pour les sons de fréquences supérieurs à 3 kHz, donc notamment pour les fréquences aiguës, le codage de la fréquence s'appuie sur un second mécanisme qu'est le phase locking ou verrouillage de phase des cellules ciliées internes. En réponse à la stimulation sonore, nous avons une déflexion des stéréocils qui sont des canaux sensibles à l'étirement. Leur étirement provoque donc leur ouverture permettant l'entrée de cations dans la cellule. Cela entraîne une dépolarisation de la cellule ciliée laquelle provoque l'ouverture des canaux calciques Ca^{2+} . L'entrée du calcium permet la libération du neurotransmetteur glutamate dans la fente synaptique. Sa fixation sur l'élément post-synaptique, le nerf auditif, permet l'émission de potentiel d'action.

En deçà de 3 kHz, chaque dépolarisation de la cellule ciliée est en phase avec la fréquence de stimulation du stimulus.

Au-delà, l'augmentation de la fréquence de stimulation fait qu'il n'y a plus de synchronisation des potentiels d'action avec la fréquence de stimulation car les cellules ciliées internes ne sont pas assez rapides « pour alterner les cycles de dépolarisation-repolarisation en phase avec la fréquence de stimulation » et seuls les mécanismes d'analyse du spectre sont sollicités (cochlea.com).

Ceci permet de mettre en évidence la structure fine qui correspond à des influx rapides supérieurs à 50 Hz et l'enveloppe du signal qui, elle correspond à des influx nerveux dont la vitesse de décharge est lente, inférieur à 50 Hz.

Ainsi, comme nous explique l'étude de Swaminathan et al., 2016, un signal peut être décomposé en deux formes d'information temporelle : les fluctuations à variations lentes de l'enveloppe et les fluctuations à variation rapide de la structure fine. Ils ont étudié la contribution de ces deux indices pour la compréhension de la parole dans plusieurs situations. Ils en ont conclu que les fluctuations à variations lentes de l'enveloppe étaient importantes pour l'intelligibilité de la parole alors que les fluctuations à variations rapides de la structure fine sont primordiales afin de pouvoir percevoir distinctement deux locuteurs dans un bruit de type « cocktail party ».

Une autre étude, celle de Miller et Licklider (1950) s'est intéressée à l'effet sur l'intelligibilité de l'interruption des ondes vocales en les activant et désactivant, dans le calme puis en les masquant avec un bruit blanc interrompu et enfin avec la parole et le bruit interrompu alternativement. Dans le second, avec un bruit continu, l'intelligibilité est dépendante du temps d'interruption du bruit, Dans le dernier cas, lorsque la parole et le bruit sont interrompus alternativement à des fréquences inférieures à 10 alternances par seconde, le bruit n'altère pas l'intelligibilité.

Au contraire, lorsque la fréquence d'alternance dépasse cette valeur, l'étalement temporel du masquage est délétère à l'intelligibilité.

Le pouvoir masquant du bruit stationnaire est plus important que lorsque le bruit est interrompu à une fréquence d'alternance de 10 Hz.

V. Répercussion sur l'intelligibilité d'un milieu bruyant.

Une étude de Killion (1997) a mis en évidence que les causes de la surdité se traduisent par une élévation du SRT (signal ratio threshold) c'est-à-dire du niveau sonore d'intensité le plus bas nécessaire pour atteindre 50% de compréhension. Cette élévation du niveau du SRT est corrélée au degré de la perte auditive. En effet, plus la perte auditive est importante, plus le niveau sonore nécessaire pour atteindre 50% de compréhension augmente également.

Perte auditive en dB HL	Valeur de SRT
30	4
40	5
50	6
60	7
70	9
80	12
90	18

Figure 1 : Corrélation entre le degré de la perte auditive et le SRT en fonction du degré de la perte auditive (KILLION, 1997).

En laboratoire, un moyen qui peut être utilisé pour mettre en évidence l'effet d'un milieu ambiant bruyant sur l'intelligibilité est le test de framatrix.

Lors de ce test, le niveau de parole est fixe et le niveau de bruit fluctue en fonction du nombre de bonnes réponses obtenues. Cela nous permet donc d'obtenir le RSB pour lequel le patient est parvenu à comprendre 50 % des mots : c'est ce que l'on nomme le SRT pour « Speech Reception Threshold ».

Il correspond au seuil de reconnaissance vocale. « Le seuil de reconnaissance vocale est le niveau d'audition minimum pour la parole (voir la norme ANSI S3.6-1969 ou les normes de remplacement ultérieures) auquel un individu peut reconnaître 50 % du matériel vocal ». Plus le SRT est élevé, plus la compréhension dans le bruit est difficile. Dans une étude, Moore (1996), a mis en exergue le fait qu'une augmentation du SRT d'un 1 dB peut mener une modification d'intelligibilité de 14 à 19% autour du seuil 50%.

Ainsi, l'écoute dans le bruit à des répercussions sur l'intelligibilité pour un NE (normo entendant) et un ME (malentendant). Les seuils supraliminaire des ME étant affectés par la surdité, il en résulte que la compréhension dans le bruit est davantage compliquée car le bruit ajoute une difficulté supplémentaire. Pour tenter de pallier cela, les algorithmes de réduction du bruit et de directivité sont donc de mise, à priori, davantage sur les appareils de classe II que de classe I.

Notre but est de voir s'il existe réellement une différence dans le traitement du signal entre les appareils de classe I et II en situation bruyante. Il existe un lien étroit entre les algorithmes de gestion du bruit, la directivité microphonique et le rapport signal sur bruit.

Les résultats d'une étude de Drullman.R (1995) menée chez 60 personnes normo-entendants mettent en exergue que la diminution des modulations de la parole induite par l'effet ajouté du bruit ambiant est nuisible à l'intelligibilité de la parole.

Les effets négatifs du bruit mais aussi de la réverbération en présence de parole réduit la profondeur de ses modulations dans chacune des bandes de fréquences.

« L'ajout de bruit au signal vocal réduit la quantité de modulations temporelles en remplissant les creux et, en même temps, modifie la structure fine. ».

Cet article nous apprend que deux facteurs peuvent être délétères à la perception de la parole : d'une part « l'enveloppe par rapport à la structure fine » et « les pics par rapport aux creux ».

La difficulté principale des personnes malentendantes demeure la compréhension de la parole dans le bruit. Comme expliqué précédemment, la capacité à comprendre dans le bruit est exprimée via le SNR-50 et correspond au rapport signal sur bruit permettant d'obtenir 50% de compréhension de la parole. « **Le SNR50 des personnes malentendantes peut être jusqu'à 30 dB supérieur à celui des personnes ayant une audition normale.** » (Chung 2004). Cela nous indique que pour un niveau de bruit de fond donné, la parole doit être 30 dB au-dessus de ce niveau de bruit pour que les personnes malentendantes parviennent à atteindre le même niveau de compréhension qu'une personne normo-entendante. « Le montant exact de la perte de SNR dépend du degré et du type de perte auditive, des matériaux de la parole, et des caractéristiques temporelles et spectrales du bruit de fond ». (Chung 2004).

Pour pallier cela, les concepteurs d'aides auditives ont développé des technologies permettant d'augmenter la compréhension de la parole dans le bruit et d'améliorer le confort d'écoute. Ces technologies correspondent aux microphones directionnels et aux algorithmes de réduction du bruit.

VI. La directivité des microphones

Parmi les microphones, on distingue les microphones directionnels et omnidirectionnels.

Les microphones « omnidirectionnels » sont des microphones à pression à une seule entrée. Ils fonctionnent de telle sorte à transformer une « tension acoustique instantanée des ondes sonores en une tension électrique homologue » (Couspel 2006). La sensibilité de ce type de microphone est la même dans toutes les directions c'est-à-dire qu'elle est indépendante de l'angle d'incidence.

Les microphones directionnels résultent de la combinaison de 2 microphones omnidirectionnels : un microphone avant et un microphone arrière. Les microphones directionnels ont pour but de tirer profit de la différence spatiale entre la parole et le bruit (Chung 2004). Ils partent du postulat que l'utilisateur se trouve dans une conversation dans laquelle le locuteur se trouve en face de lui et que les sons provenant des côtés et de l'arrière sont indésirables. Ainsi les microphones directionnels sont plus sensibles aux sons en provenance de l'avant que de ceux issus des côtés ou de l'arrière. Il a été mis en évidence que les microphones directionnels améliorent le RSB de 3 à 4 dB en moyenne dans des environnements à faible réverbération (Valente et al, 1999).

A. Microphone directionnel de premier ordre

Les microphones directionnels possèdent **2 entrées : une entrée avant et une entrée arrière** donc les sons peuvent être captés au niveau de ces deux extrémités. Du fait de la distance séparant l'entrée avant et l'entrée arrière, il existe un retard que l'on nomme « **retard externe** ». Il correspond au temps mis par les ondes sonores pour se déplacer d'une entrée à l'autre. Il est proportionnel à la distance séparant les deux entrées.

De plus, au niveau de l'entrée arrière se trouve **un filtre de retard acoustique**. Il crée un retard électronique que l'on nomme « **retard interne** ».

Le but de celui-ci est de créer un **retard temporel** qui soit constant pour l'ensemble des signaux et ce dans le but de faire en sorte que les signaux de bruit arrivant sur l'avant et sur l'arrière arrivent sur la membrane le plus en **phase** possible. En effet, la sortie du microphone arrière est retardée et soustraite à celle du microphone avant et cette soustraction est d'autant plus efficace si la réponse en fréquence et la phase des deux microphones sont identiques. Le retard interne peut être fixe ou adaptatif (Chung 2010). C'est le rapport des valeurs prises par le retard externe induit par la différence entre les deux microphones et les valeurs prises par le retard interne induit par le filtre de retard acoustique qui déterminent les différents patterns représentant la sensibilité des microphones aux sons provenant de toutes les directions de l'espace. On obtient alors une multitude de diagrammes polaires différents.

Plus la fréquence incidente et le temps de retard du filtre acoustique sont importants, plus la sensibilité du microphone sera importante et il existe des sensibilités maximales et minimales (Couspel 2006).

B. Les microphones directionnels adaptatifs

Ce type de microphone permet de passer d'un diagramme polaire à un autre **en modifiant la valeur du retard interne**. Leur but est de réduire le bruit de fond en orientant la direction la moins sensible du microphone c'est-à-dire l'azimut zéro en direction de la source de bruit. « En présence de sources de bruit multiples, les algorithmes peuvent recourir à un diagramme cardioïde ou hypercardioïde (Chung, 2004). ».

Lorsqu'il n'y a que quelques sources de bruits, l'effet des microphones adaptatifs est plus significatif que ce des microphones à diagramme polaire fixe mais ceci est quasiment aboli lorsque les sources de bruits sont multiples (Ricketts & Henry, 2002 ; Chung & Zeng, 2009). Il est aussi important de noter qu'en présence d'une source de bruit dominante, la direction la moins sensible du microphone soit l'azimut zéro ne peut être dirigé vers celle-ci, lorsqu'il y a aussi des sources de bruits dont le niveau est inférieur. On se retrouve alors avec une efficacité similaire à celle des microphones conventionnels à diagramme fixe (Chung 2010).

La plupart des appareils de classe II, si ce n'est tous, possèdent deux microphones directionnels par appareils qui communiquent tous ensemble. Cette communication composée de 4 microphones permet d'améliorer de manière notable le RSB.

VII. Les réducteurs de bruits

Comme nous le montre à la fois l'étude de Chung (2004) et Sarampalis et al. 2009, les réducteurs de bruits permettent principalement à l'utilisateur d'aide auditive de bénéficier d'un meilleur confort d'écoute et d'une amélioration de l'intelligibilité de la parole. Ainsi, cela permet de diminuer l'effort d'écoute et l'utilisateur peut alors libérer son attention pour effectuer d'autres tâches. Les réducteurs de bruits fonctionnent en tirant avantage de la séparation temporelle et des différences spectrales de la parole et du bruit (chung 2004). En effet, ils vont analyser les caractéristiques spectrales, temporelles et d'amplitude du signal en entrée du microphone afin de les classer et de les définir comme étant soit un signal de parole, de bruit, de musique, ou encore une autre scène sonore (chung 2010). En fonction de la catégorisation du signal d'entrée, ces algorithmes orienteront la prise de décision pour traiter le signal en fonction de sa nature. Chaque réducteur de bruit possède un delta t nécessaire à sa mise en place.

Chacun d'entre eux possède une méthode de détection du signal, un ensemble de règles, de décisions et des constantes de temps qui varient en fonction des fabricants.

A. Les détecteurs de modulation

En général, les algorithmes de réduction du bruit basés sur la modulation **augmentent le confort d'écoute et la capacité cognitive dans un bruit de fond (Boysman & Dreschler, 2000 ; Palmer et al., 2006 ; Sarampalis et al., 2009)**. Comme leur nom l'indique, ils utilisent le **taux de modulation pour identifier la nature du signal** sonore c'est-à-dire s'il s'agit de parler ou non **et** ils utilisent la **profondeur de la modulation** pour estimer le RSB du signal entrant.

Du fait des mouvements d'ouverture et de fermeture du tractus vocal, l'amplitude de l'enveloppe de la parole varie constamment avec un taux de modulation compris entre 2 et 50 Hz (Rosen, 1992), et le taux de modulation central est compris entre 4 à 6 Hz (Houtgast et Steeneken, 1985). Ce qui est compris en dehors de cette plage de modulation est considéré comme étant du bruit.

En ce qui concerne la profondeur de modulation, elle correspond à la différence entre les creux ou minima et les pics ou maxima d'une onde sonore. Elle représente donc une variation d'amplitude en fonction du temps. Plus la différence d'amplitude entre les pics et les creux de la parole est importante, plus le signal de parole domine celui du bruit et inversement.

Sur la figure ci-dessous, le trait plein représente l'amplitude de la parole et le trait fin représente l'amplitude du bruit.

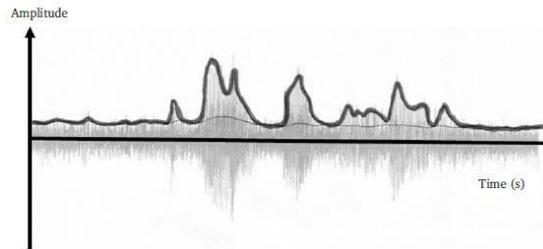


Figure 5. The modulation detector is composed of a maxima (thick line) and a minima follower (thin line). The maxima follower estimates the level of speech and the minima follower estimates the level of noise. The difference between the two allows the estimation of signal-to-noise ratio in the frequency channel.

Figure 2 : Détecteur d'amplitude de modulation en fonction du temps (Chung,K. ,2004)

L'acquisition du taux de modulation et de la profondeur des modulations sont ensuite comparées à un ensemble de règles et de décisions :

- Si la profondeur du taux de modulation est élevée dans un canal de fréquence, indiquant que le RSB est élevé et que le taux de modulation se situe dans la plage correspondante à celle de la parole, indiquant ainsi que la parole est présente dans le signal, alors le gain du canal est modifié dans une moindre mesure
- Si la profondeur du taux de modulation est faible dans un canal de fréquence c'est-à-dire que le RSB est faible et que le taux de modulation est en dehors de celui de la parole, indiquant l'absence de la parole, alors le gain dans ce canal est réduit.
- **« L'ampleur de la réduction du gain diffère d'un algorithme à l'autre et peut dépendre du taux de modulation, de la profondeur de modulation, du niveau global du signal entrant, de la pondération des fréquences pour l'intelligibilité de la parole, des types de signaux et de bruits de fond et du niveau de réduction du bruit défini dans le logiciel d'adaptation » (Chung, 2004 ; Bentler & Chiou, 2006).**

Cependant, les algorithmes de réduction du bruit **basés sur la modulation améliorent le RSB global et non pas le RSB d'un canal de traitement du signal.**

Ils réduisent en réalité **la parole et le bruit des canaux de fréquence dominé par le bruit.** Ces algorithmes apportent donc davantage un confort d'écoute plutôt qu'une amélioration de l'intelligibilité dans le bruit car « la même réduction de gain est appliquée à la parole et au bruit pour un même canal ». Il est aussi à noter que si le **bruit correspond à un autre locuteur ou bien que son taux de modulation soit proche de celui de la parole, alors l'unité de détection et d'analyse du signal n'a pas la capacité de différencier la parole du bruit** (Chung 2004).

B. La réduction adaptative du bruit à canaux multiples (Chung 2004)

Le but premier de ce type de réducteur est de réduire les interférences sonores dans les canaux de fréquences où le bruit est la composante dominante. Lorsqu'il existe une différence spectrale entre le bruit et la parole, ce sont eux qui sont définis comme réduisant le bruit de la manière la plus efficace (Chung 2004). Néanmoins, de nombreuses études ont montré que, lorsqu'il s'agit de bruit large bande (comme des bruits de voiture), l'amélioration de la compréhension de la parole n'était pas de mise car le réducteur de bruit réduit la parole et le bruit dans les canaux de fréquence dominée par le bruit (Chung 2004). En effet, les situations où les algorithmes de réduction du bruit sont les plus efficaces sont lorsque que des bruits sont de type permanent. En revanche, si l'algorithme détecte dans le bruit concurrent des patterns de modulations propres à ce de la parole, il ne peut alors pas différencier le signal d'intérêt du signal concurrent. « En général, plus les différences des caractéristiques acoustiques entre la parole et le bruit sont grandes, plus l'algorithme de réduction du bruit est efficace (Levitt, 2001) ».

C. Les réducteurs de bruits synchrones

Le fonctionnement de ce type de débruiteur repose sur le fait que les composantes de la parole du spectre de fréquence vocale sont modulées par les mouvements d'ouverture et la fermeture du conduit vocal à la même cadence et au même instant t . C'est la raison pour laquelle on parle de co-modulation. Il s'agit d'une modulation rapide de la parole. En revanche, le bruit lui n'est qu'épisodiquement co-modulé. Ainsi, ce type de réducteur détecte les modulations rapides des paroles dans chaque canal de fréquences et il tire profit du temps de séparation (ou séparation temporelle) entre le bruit et la parole car il prend fonction aux instants où la parole n'est pas présente. Son but est donc d'améliorer le confort d'écoute en l'absence de parole. Ainsi, « il n'apporte aucun avantage en termes de confort d'écoute ou de compréhension de la parole lorsque la parole et le bruit coexistent ou lorsque la parole est le signal concurrent » (Chung 2004).

D. Réducteur de bruit par modification spectrale à court terme

Ces réducteurs permettent le **rehaussement de la parole**. Il utilise une méthode permettant de réduire le bruit de fond. De manière plus précise, ce type de réducteur utilise l'estimation du niveau de bruit afin d'atténuer dans une certaine mesure les composantes spectrales du signal considéré (Fillion, 2004).

Afin d'exposer le plus clairement possible cette méthode, il convient de définir un signal noté $x(n)$ que nous observons, qui correspond à la somme d'un signal de parole noté $s(n)$ interrompu par un « bruit additif » que l'on nomme $b(n)$. La notation « n » correspond à « chaque indice temporel discret ». Les signaux de bruit et de parole sont supposés indépendants. Nous avons donc :

$$x[n] = s[n] + b[n]$$

L'ensemble des explications qui suivent s'appuie sur la thèse de Plapous, 2005. Pour pouvoir appliquer cette méthode, les signaux de bruit et de parole doivent être considérés comme stationnaires. Si le bruit peut être considéré comme quasi-stationnaire c'est-à-dire comme ayant des propriétés constantes dans le temps, ce n'est pas le cas de la parole. En effet, pour pouvoir la considérer comme telle, il faut considérer des trames de paroles d'une durée de l'ordre de 20 à 40 ms. Cette réduction du bruit s'effectue dans le domaine fréquentiel. Les deux derniers éléments évoqués expliquent pourquoi nous parlons d'atténuation **spectrale à court terme**. Ainsi, les deux signaux étant considérés comme quasi-stationnaires, nous pouvons écrire l'équation sous forme de densité spectrales de puissance DSP γ (gamma), en considérant que la DSP du signal bruité correspond à la somme de la DSP du bruit $\gamma b(f)$ et de celle de la parole $\gamma s(f)$:

$$\gamma x(f) = \gamma s(f) + \gamma b(f)$$

Chaque trame du signal temporel sera représentée dans **le domaine fréquentiel** par « son module $|X(p,k)|$ et sa phase associée $\varphi_X(p,k)$, où p représente l'indice temporel de la trame d'analyse courante et k le canal fréquentiel d'indice k ou autrement dit la fréquence discrète f_k ». Le but sera donc d'estimer le spectre à court terme du signal $s[n]$.

Pour définir cette estimation spectrale, un gain de spectre noté $G(p,k)$ est appliqué au spectre bruité $X(p,k)$. On note donc :

$$\hat{S}(p,k) = G(p,k)X(p,k)$$

L'application du gain de spectre dépend de la valeur du RSB :

- Si nous avons un RSB important, ceci signifie que le niveau de parole domine par rapport à celui du bruit. Il est résulté ainsi que le gain doit-être proche de 1 afin de préserver la composante de la parole.
- Si nous avons un RSB peu important, cela signifie à contrario que le niveau de bruit prédomine sur la composante de la parole. Le spectre de gain doit donc être inférieur à 1 ($(p, k) \ll 1$) afin d'apporter une atténuation suffisante pour réduire le bruit.

Voici les étapes nécessaires à cette atténuation spectrale à court terme :

- Le signal **temporel bruité** noté **$x(t)$** est découpé en trame, comme expliqué plus haut de 20 à 40 secondes afin de pouvoir exploiter un signal considéré comme quasi-stationnaire. Grâce à la Transformée de Fourier à court terme TFCT, chacune des trames est passée dans le domaine spectrale afin que la réduction du bruit et le rehaussement de la parole puisse effectivement avoir lieu.
- L'estimation spectrale étant dépendante de la valeur du Gain spectrale, elle-même dépendante du RSB, il est nécessaire de définir une estimation de la densité spectrale de puissance du bruit à long terme dans le module de la TFD. Il est possible de faire en présence de bruit seul ou bien en présence de parole.
- Ainsi, cela nous permet donc désormais d'appliquer « l'atténuation spectrale à court terme » ou gain d'atténuation le plus adapté à la situation (prédominance ou non de la parole), dans chaque trame initialement considérée. En effet, le gain d'atténuation sera appliqué au module du signal bruité.

- Une Transformée de Fourier discrète inverse ou TFDI est ensuite appliquée au signal pour revenir dans le domaine temporel.
- In fine, après le filtrage et le TFD, le signal de sortie est resynthétisé grâce d'une part à la technique OLS qui « consiste à ne conserver que les échantillons validés à l'issue de l'opération de filtrage » car certains échantillons peuvent soit être issus d'un filtre tronqué soit avoir subi un repliement temporel au moment du filtrage fréquentiel. D'autre part, la technique OLA pour « over lap and add » permet de combiner les échantillons des trames précédentes et suivantes une trame donnée afin d'obtenir à la fin un signal filtré par un filtre complet.

Le fonctionnement de ce type de réducteur de bruit peut être représenté par le schéma suivant :

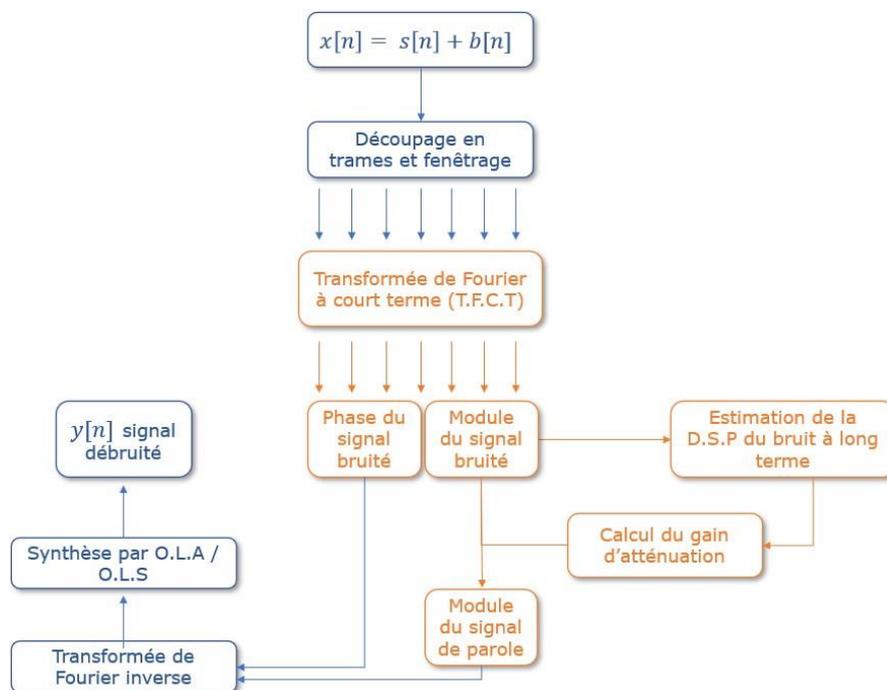


Figure 3 : Schéma représentant le principe de fonctionnement de l'atténuateur spectrale à court terme (inspiré par Fillon, 2004 et Plapous, 2005) réalisé par Manon Granger

E. Les réducteurs de bruit utilisant l'écoute binaurale

La binauralité correspond à la communication des aides auditives entre elles notamment grâce à l'antenne NFMI.

C'est par exemple le cas de la marque Starkey où l'induction NFMI fonctionne sur une distance de 20 cm. C'est ce que l'on retrouve dans l'algorithme « parole dans le bruit fort ». Cette antenne compare les informations en temps et en intensité qui arrive aux deux oreilles. S'il n'y a pas de différence entre les 2 oreilles c'est-à-dire que l'on a quelque chose de cohérent en temps et en intensité alors il n'y a pas d'atténuation des sons et si une incohérence est détectée, dans ce cas-là il y a une atténuation. Cet algorithme est censé permettre une amélioration du RSB car il agit sur les sons dynamiques. Il s'active à partir de 75 dB de bruit avec un RSB négatif. Chez Phonak, on retrouve aussi la communication binaurale, notamment dans le programme « parole à 360° » qui permet un transfert du meilleur RSB sur l'oreille controlatérale.

PARTIE EXPERIMENTALE

I. Matériel et méthode

A. Objectifs de l'étude

Pour rappel, l'objectif de ce mémoire est d'entendre et d'analyser les différences de traitements dans différents environnements sonores, entre un appareil de classe I et un appareil de classe II, au sein **d'une même marque**. On enregistrera la sortie de nos aides auditives **avec 4 micros-cravates ou DPA reliés à un enregistreur ZOOM H6 via quatre adaptateurs**. Le but est de comparer les 2 classes d'appareils, en enregistrant **simultanément et en stéréo les 2 appareils de chacune des paires, dans une même situation d'écoute**. Pour cela, nous avons utilisé à la fois les réglages fabricants afin de se rapprocher de la pratique la plus courante des audioprothésistes mais aussi un réglage permettant aux deux appareils d'avoir le gain le plus proche possible dans le but de s'affranchir autant que possible des différences dû à une différence de gain.

On s'attend à priori à observer une différence dont une part devrait s'expliquer par l'effet des algorithmes de réductions du bruit des appareils de classe II, dont certains sont parfois intrinsèquement liés à des algorithmes de directivité. Nous effectuerons nos tests dans des environnements sonores plus ou moins complexes afin de mettre des différences en évidence et de déterminer quelles sont les situations qui permettent de mettre en exergue les différences les plus significatives.

B. Matériel utilisé

1. Le ZOOM H6

Le zoom H6 est un enregistreur de terrain portable. Il permet d'enregistrer simultanément jusqu'à 6 pistes audios. Dans le cadre de notre mémoire, nous en utiliserons 4. L'enregistrement se fait directement sur une carte SD. Pour numériser le son, nous prélevons des échantillons à intervalles réguliers qui sont codés en une série de bits. Le ZOOM H6 peut enregistrer avec une qualité maximale de 24 bits pour 96 kHz en format WAV. Nous enregistrons ici avec une qualité de 24 bits pour 44.1 kHz en format WAV. Cela signifie que l'on effectue un codage sur 24 bits et un échantillonnage à 44.1 kHz c'est-à-dire que nous échantillonnons notre signal 44 100 fois par seconde. Cela nous permet donc d'avoir un échantillonnage du son assez précis.

Le ZOOM H6 possède aussi quatre commandes rotatives permettant d'appliquer une atténuation de 20 dB pour chacune des entrées numérotées de 1 à 4. Nous avons appliqué cette atténuation sur chacune des quatre pistes afin qu'elles n'entrent pas en saturation.

On dénombre aussi 4 commandes rotatives de gestion du gain. Nous avons fait le choix de régler chacune des entrées sur un gain de 4 dB afin d'avoir un signal suffisamment audible qui n'entre toutefois pas en saturation. Toutes les pistes principales fonctionnent grâce à une alimentation fantôme de +12, +24 ou +48 V. Dans notre cas, nous avons utilisé une alimentation fantôme de +48V.



Figure 4 : Illustration de l'enregistreur portable ZOOM H6

2. DPA CORE 406

Le DPA est un microphone professionnel miniature omnidirectionnel discret de haute sensibilité. Le DPA 4060 peut accepter un niveau de pression acoustique maximal de 134 dB SPL avant que 10% de THD n'apparaissent. Il est notamment utilisé comme micro-cravate à des fins de diffusion et de prise de parole en public. La directivité omnidirectionnelle le rend moins sensible aux bruits de manipulation ainsi qu'aux bruits de souffle et de vent. Ce type de microphone a été conçu afin de pouvoir être utilisé dans des conditions les plus difficiles.

3. DAP DAD600

Il s'agit d'un adaptateur d'alimentation phantom +48V permettant de relier les micro-cravates au ZOOM H6 (annexe 1).

4. Autres éléments

- Logiciel Audacity et surtout dans notre cas Ableton Live 11 nous permettent de visualiser, d'écouter et de monter chacune de nos pistes d'enregistrements.
- Le logiciel Ableton nous a permis d'effectuer des montages des séquences qui nous intéressaient.
- Le logiciel Matlab sa licence « Signal Processing Toolbox » nous permettant d'analyser nos enregistrements.
- Un coupleur aurical 2cc, Aurical HIT (MADSEN) nous ayant permis :
 1. De régler nos aides auditives sur une cible commune.
 2. De vérifier l'impact sur le gain lors de la mise au maximum d'un algorithme donné.
 3. De comparer la différence de gain entre les différents programmes automatiques et manuels pour un même appareil et entre les appareils de classe I et II.
- L'audiomètre OTOSuite afin de créer nos audiométries tonales.
- Logiciel Da Vinci resolve de montage audio et vidéo.
- 8 paires d'appareils à écouteur déportés dont 4 paires de classe I et 4 paires de classe II dernières générations.
- Les logiciels de réglages, à jour, propre à chaque marque
- Une tête et un torse de mannequin en PVC afin de se rapprocher des propriétés de la peau (plus molle que dure).
- L'application Sound Meter qui est un sonomètre permettant de mesurer l'intensité du bruit dans chaque situation en dB SPL.

C. Environnement sonore

1. Configuration de notre montage d'enregistrement.

1. Nous disposons de 4 micros-cravates ou DPA reliés à chacune des 4 entrées de l'enregistreur ZOOM H6 via un adaptateur. Ainsi, l'une des extrémités du micro-cravate est reliée au ZOOM H6 via un adaptateur et l'autre extrémité est reliée à l'écouteur de l'ACA via un tube à couder. L'une des extrémités du tube englobe l'ensemble du micro-cravate et l'autre l'extrémité du tube englobe l'ensemble de la partie terminale de l'écouteur. Ce montage nous permet d'être relativement étanche car nous n'enregistrons aucun signal ambiant lorsque nous réalisons un enregistrement appareil éteint et aussi lorsque nous enregistrons uniquement avec la gaine du tube sans l'appareil auditif. Ainsi, la mesure de l'anti-larsen nous permet d'être au maximum de sortie de l'écouteur. Il est à noter que la longueur du tube était de 1.5 cm, et que celui-ci implique l'apparition de pics et de creux spectraux, notamment dans les hautes fréquences, lié à son diamètre et à sa longueur.

2. Ce montage nous permet **d'enregistrer les appareils droit et gauche de chacune des paires de classe I et II simultanément**. Ainsi, nous enregistrons exactement la **même situation, à un même instant t avec les 2 paires d'appareils**. Nous obtenons donc des données qui sont **comparables dans le temps**. De plus, ce montage nous permet d'avoir un **enregistrement stéréo qui rend donc compte d'une écoute « normale »**.

3. Sur le ZOOM H6, l'appareil droit de classe 1 est relié à la piste 1 et le gauche à la piste 3. Pour la paire de classe 2, l'appareil droit est lié à la piste 2 et le gauche à la piste 4.

4. L'appareil droit de chacune des paires d'appareils de classe I et II sont fixés entre eux et sur le mannequin à droite, derrière l'oreille du mannequin, grâce à de la pâte à fixe. Nous effectuons le même montage à gauche. Cela permet aux microphones d'être orientés de la même façon. L'utilisation de la tête de mannequin nous permet de reproduire la **distance interaurale** afin de se rapprocher des conditions réelles d'utilisation et de respecter les propriétés acoustiques qui en découlent (effet d'ombre de la tête). Néanmoins, il est à noter que la juxtaposition des appareils puissent avoir perturbé dans une certaine mesure le fonctionnement de certain algorithme comme l'anti-larsen et l'effet microphonique car ce dernier est optimisé par rapport à l'effet d'emplacement du microphone MLE et à la fonction de transfert relative à la tête « HRTF ».

5. Pour chaque paire d'appareil, nous enregistrons en se mettant à chaque fois sur le même programme pour l'appareil de classe I et pour l'appareil classe II. Entre chaque enregistrement, on change de programme.

6. Nous veillons, pour chaque enregistrement, à ce que chacun des potentiomètres du ZOOM H6 soit réglé sur le cran 4 afin d'avoir un gain suffisant et le PDA sur -20 afin que le micro-cravate n'entre pas en saturation.

7. Nous réalisons des enregistrements à environ 1 mètre du mannequin pour chacune des situations.

- Lors de la réalisation des enregistrements au restaurant universitaire, nous plaçons le mannequin en face du locuteur. Chacun des enregistrements a été réalisés à la même place. Nous nous sommes positionnés au milieu, de telle sorte à ce que le bruit arrive dans chacune des directions de l'espace. En effet, le self étant constitué de trois étages, nous nous sommes positionnés à l'étage intermédiaire, dans une place la plus au centre possible.

Nous notons, cependant, que sur la gauche, se trouvait le passage permettant aux étudiants de quitter le self, ce qui générait assez de bruit de ce côté. Ces enregistrements ont été réalisés dans une plage horaire restreinte, notamment entre 12h et 13h30, en attendant à chaque fois que le bruit soit le plus important possible.

- Lors de la réalisation des enregistrements dans la rue, nous placions le mannequin en face du locuteur et en face de la route. De la même manière, chacun des enregistrements ont été réalisés dans la même configuration et nous les avons réalisés à chaque fois à une heure de pointe afin de se mettre dans les conditions les plus riches possibles.

- Lors de la réalisation des enregistrements en présence de vent, nous avons placé le mannequin dans le sens du vent et en face du locuteur.

- Enfin, lors des enregistrements en voiture, le mannequin a été placé de telle sorte que la parole arrive du côté gauche. Comme pour les autres situations, nous avons réalisé les enregistrements en gardant toujours la même configuration.

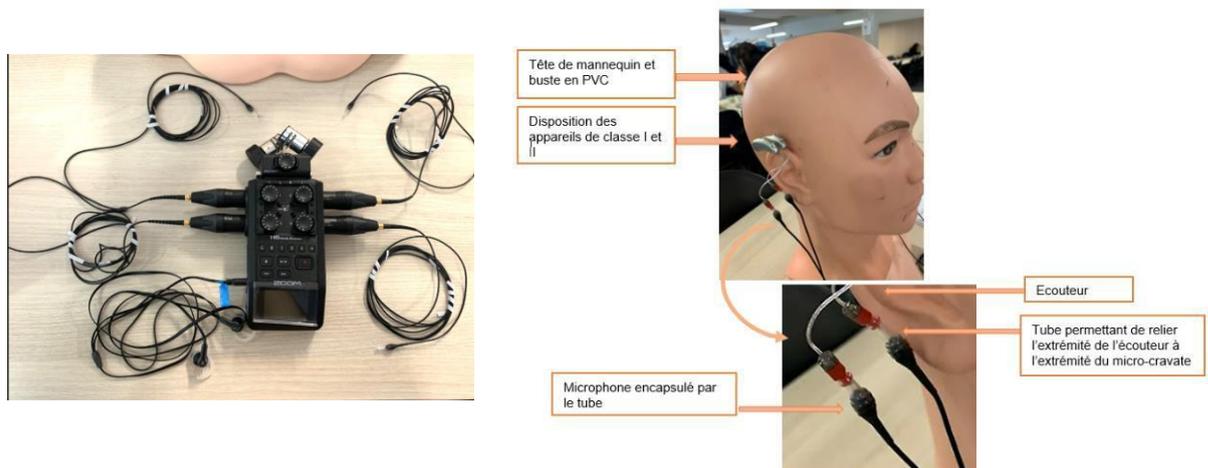


Figure 6 : schémas du dispositif d'enregistrement.

D. Montage des enregistrements sur Ableton Live 11

Après avoir effectué les enregistrements, il a fallu les classer par : 1. Marques, 2. Réglages (fabricant ou similaire), 3. Par situation d'écoute et enfin 4. Par programmes. Pour un programme donné, nous avons 4 tracs ou pistes : celle de l'oreille droite et gauche de chacune des 2 paires d'appareils de classe I et II.

Ensuite, il s'agit d'importer chacun des fichiers sur Ableton. Pour chacune des marques, chaque réglage et chacune des situations d'écoute, le montage se faisait programme par programme. Sur ce logiciel, nous avons 5 pistes : une pour chacune des deux oreilles droite et gauche par appareil. La 5ème correspond à la piste de montage audio. Nous avons ensuite sélectionné différents instants de l'enregistrement, avec et sans parole. Nous les avons ensuite découpés sur les 4 pistes un instant d'intérêt afin de mettre celui issu de l'appareil de classe I et de classe II l'un à la suite de l'autre. Cela nous permet donc in fine d'écouter un même instant, l'un à la suite de l'autre, traité par l'appareil de classe I puis par celui de classe II. Le but est de permettre au destinataire d'écouter un même instant, traité par deux appareils, mais dans un délai suffisamment court lui permettant de se rappeler de ce qu'il a écouté en premier lieu et de pouvoir faire par la suite une comparaison.

Avant d'analyser nos séquences d'intérêt sur Matlab, **et ce dans le but de ne pas être influencés par les données**, chacun des enregistrements était décrit en fonction de ce que nous entendions à l'oreille, afin d'établir une comparaison qui soit basée sur la sensation auditive et non pas sur des données chiffrées.

Ensuite, il a fallu déterminer pour chaque enregistrement les portions, en seconde, que nous voulions par la suite analyser sur Matlab afin de mettre en évidence les différences de traitement perçue qu'elle soit franche ou non.

Sur Matlab, une fois avoir importé le fichier son, il convenait de modifier le script en modifiant les valeurs de temps du début et de la fin de la portion d'enregistrement que nous voulions analyser.

E. Scènes sonores

Nous avons fait le choix d'enregistrer dans 4 situations différentes : en milieu bruyant tel qu'au restaurant universitaire ainsi qu'à proximité d'une route aux heures de pointe, les jours où le vent soufflait de manière importante et enfin en voiture.

Les patients se plaignent souvent d'avoir du mal à comprendre dans le bruit notamment au restaurant c'est pourquoi cette situation est particulièrement intéressante à tester. Elle regroupe à la fois le bruit (hors parole) et la parole dû aux différentes discussions adjacentes, des bruits impulsionnels comme ceux des couverts. Cela permet notamment de mettre en évidence l'effet des réducteurs de bruits fluctuants.

Les bruits de rue illustrent une scène qui fait partie du quotidien des patients. Ils contiennent aussi différents types de bruits, notamment ceux des voitures qui semblent s'assimiler à des bruits continus/stationnaires.

Le vent et la voiture représentent des situations un peu plus particulières mais pouvant être récurrentes dans la vie quotidienne pour certains patients. Elles constituent donc elles aussi une opportunité de pouvoir mettre en exergue une différence de traitement entre les appareils de classe I et de classe II.

Niveau Situations	MIN en dB SPL	MOYENNE en dB SPL	MAX en dB SPL	AFFICHEE en dB SPL
Restaurant universitaire	56	65	76	68
Vent	36	63	78	75
Voiture	48	62	77	65
Rue	49	59	75	66

Tableau 3 : Tableau illustrant les variations des niveaux d'intensité sonore dans différentes situations d'écoutes en dB SPL.

F. Réflexions menées pour le choix du stimulus

Dans le but d'aboutir à notre stimulus d'intérêt final, à savoir le signal de parole, nous avons réalisé plusieurs mesures « tests » afin de choisir celui qui nous permettrait d'enregistrer dans une situation la plus réelle et concrète possible. Initialement, nous avons pensé au signal de parole NFIMfrench correspondant à la voix française de l'international Speech Test Signal (ISTS). Nous nous sommes au départ orienté sur ce choix car il représente un stimuli riche issu d'un signal international et qu'il est en français. Ainsi, il constituait un moyen efficace de tester l'intelligibilité de nos enregistrements dans les différents environnements sonores testés. Cependant, étant donné que nos enregistrements sont destinés à être écoutés, utiliser ce type de texte risquerait de détourner l'attention du destinataire, et ce pour plusieurs raisons. D'une part, car c'est un texte assez long et lorsque la longueur de l'enregistrement est trop importante, il est difficile de se rappeler de ce que l'on vient d'entendre afin de le comparer à ce que l'on entend au moment présent.

D'autre part, s'agissant d'une fable, même si le texte n'était pas récité dans son intégralité, l'attention et la concentration du destinataire se focaliserait plus sur le sens du test au détriment des différences pouvant exister entre les appareils de classe I et II. Aussi, nous avons pensé que les phrases de ce texte n'illustreraient pas vraiment un énoncé pouvant être retrouvé dans la vie courante. En effet, nous avons voulu enregistrer dans des conditions nous permettant de nous **rapprocher d'un contexte de vie le plus réel possible**.

Ainsi, nous avons finalement choisi d'utiliser 4 phrases « types », très simple de compréhension, sous la forme d'un dialogue assez « banal » afin de mobiliser le moins possible l'attention du destinataire sur le sens des phrases :

- « Bonjour, comment vas-tu ? ».
- « Je vais bien merci ».
- « Que pensais-tu faire aujourd'hui ? ». / « As-tu prévu de faire quelque chose de particulier aujourd'hui ? ».
- « Il fait beau, je pensais aller me promener au parc » / « Je suis un peu fatiguée, je pensais me reposer » / « Non, car il ne fait pas très beau ».
- « Très bien merci » / « très bien, bonne journée ».

Lors du montage de nos pistes d'enregistrement sur Ableton, nous avons mis à la suite, sur une même piste, un même passage de l'enregistrement issu du traitement effectué par l'appareil de classe I et II, mettant ou non en exergue des différences de traitement de l'environnement sonore. Comme expliqué précédemment, il est difficile de se souvenir de différences que l'on a pu entendre lorsque la longueur de l'enregistrement est trop importante. Ainsi, le but de ce montage est de pouvoir se rappeler plus facilement du moment d'intérêt, en faisant en sorte qu'il ne soit pas noyé dans une masse d'information sonore.

En effet, **cela pourrait être une des raisons pour laquelle il advient parfois que les patients ne parviennent pas à sentir une différence significative entre classe I et II lorsque nous leur posons la question.**

Le but est donc d'enregistrer la sortie des aides auditives dans des situations où le patient nous relate souvent qu'il se retrouve en difficulté, **que ce soit pour la compréhension ou le confort d'écoute.**

G. Appareils auditifs testés

1. Marques et modèles

Marque	Classification	Modèle	Alimentation	Ecouteur
PHONAK	Classe I	M30	Pile 312	M (114/46)
	Classe II	L90	Rechargeable	M (114/46)
SIGNIA	Classe I	Pure 2PX	Pile 312	M (119/60)
	Classe II	Pure 7AX	Rechargeable	M (119/60)
OTICON	Classe I	Siya 1	Pile 312	85 (116/54)
	Classe II	More 1	Rechargeable	85 (117/55)
STARKEY	Classe I	Livio 1200	Pile 312	Gain 60)
	Classe II	Evolv 2400	Pile 312	Gain 60

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des modèles testés et du couplage acoustique

Nous avons testé 4 marques d'appareils différentes : OTICON, PHONAK, SIGNIA et STARKEY. Les appareils testés sont tous des contours d'oreilles à écouteur déportés RIC.

La puissance des écouteurs choisis est celle préconisée par le fabricant : au sein de la parenthèse, la première valeur représente le niveau de sortie maximum de l'écouteur pour un niveau d'entrée de 90dB SPL et la seconde valeur représente le gain maximum pouvant être appliqué, en fonction des normes indiquées au coupleur 2cc.

2. Réglage des appareils

Pour avoir des résultats comparables, il a fallu s'accorder sur une perte auditive commune à l'ensemble des appareils testés. Pour cela, nous nous sommes tout d'abord appuyés sur l'étude de Nikolai Bisgaard (Bisgaard et al,2010), établie sur 28 244 audiogrammes, qui a permis de définir 10 audiogrammes standards couvrant l'ensemble de ceux rencontrés en pratique clinique.

Initialement, nous nous étions accordés sur l'audiogramme N3 qui correspond à une perte auditive moyenne de 42 dB HL, soit une perte auditive de degré moyenne, illustrant ainsi la grande majorité des cas rencontrés en laboratoire (perte de type presbyacousie).

Nous avons hésité entre une perte de type N3, une perte plate à 40 dB et une perte plate à 50 dB et ce car nous avons émis les hypothèses suivantes :

- Avec la perte N3, se caractérisant par une perte de 35 dB sur les graves, et davantage sur les aigus, nous avons supposé que le bruit ambiant enregistré par le DPA puisse être plus fort que celui en sortie d'appareil. Or, cela ne fut finalement pas le cas, car en enregistrant dans un milieu relativement bruyant, appareil éteint (afin de recueillir seulement le bruit ambiant), nous nous sommes rendu compte en écoutant l'enregistrement, que nous n'entendions aucun signal. Cela nous a donc permis de s'accorder sur le fait que notre montage était relativement étanche.

Un autre élément en faveur de l'étanchéité du montage était que, lors de la réalisation de la mesure de l'anti-larsen, nous obtenions une courbe de l'anti-larsen qui épousait à chaque fois la courbe représentant le maximum de niveau de sortie de l'écouteur.

- A contrario, avec ce type de perte, nous avons aussi supposé que le signal puisse être **déformé du point de vue d'un normo entendant** notamment car nous aurions une correction préconisant davantage de gain sur les fréquences aiguës. Ainsi, la mise en exergue d'une différence de traitement du signal entre appareil de classe I et II pourrait s'avérer être faussée. Ces enregistrements étant destinés à être écoutés par des personnes normo entendants, il nous a ainsi semblé qu'il serait plus pertinent d'utiliser une perte plate.

Se posait désormais la question de choisir entre une perte plate à 40 dB HL ou à 50 dB HL.

En utilisant une perte plate à 40 dB HL, le signal traité aurait le même timbre que le signal non traité et « respecterait » davantage « la représentation en fréquence » du normo-entendant. En revanche, comme précédemment, nous avons émis l'hypothèse que le bruit ambiant puisse parasiter le signal amplifié recueilli en sortie d'appareil. Il s'est avéré que ce n'était pas le cas.

In fine, dans le but d'espérer disposer des conditions nécessaires à la mise en évidence d'un progrès du traitement du signal, nous avons fait le choix d'utiliser une perte plate à 50 dB HL, afin de veiller à avoir un gain suffisant sur la bande passante. Nous avons conscience que le couplage acoustique des appareils ne se résume pas au couplage occlusif, cependant, notre but était **de tester les appareils dans les conditions les plus optimales et de s'affranchir du biais des fuites acoustiques afin de pouvoir expliquer au mieux nos résultats.**

3. Méthodes de réglage

Dans le but de mettre en évidence les différences de traitements auditifs entre appareils de classe I et II, nous avons tiré profit de deux méthodologies de réglages :

- La méthodologie de réglage fabricant. Elle correspond aux réglages prescrit par le fabricant tant en termes de gain que de réglages des algorithmes de gestion de l'environnement. Cette méthodologie devrait donc permettre aux appareils d'être réglés de la manière la plus optimale possible pour une situation donnée, et ce afin de répondre au mieux aux contraintes de l'environnement sonore dans lequel se trouve le patient. C'est la méthodologie la plus à même de mettre en exergue les capacités de l'appareil.

- Une méthodologie consistant à régler les appareils avec le gain le plus proche possible sur chacun des 3 niveaux d'entrées : 50, 65 et 80 dB SPL. Pour cela, nous avons utilisé le stimulus I.S.T.S d'une durée de 14 secondes, aux intensités 50, 65 et 80 dB SPL. Pour effectuer ces réglages, nous avons passé nos appareils en coupleur 2cc AURICAL. Il permet de simuler le système acoustique entre la sortie de l'appareil auditif et le tympan.

Pour chacun des appareils, nous avons utilisé le programme « automatique » c'est-à-dire le programme pour lequel l'appareil adapte automatiquement la gestion gain, des algorithmes de réduction du bruit ou encore de la directivité en fonction de l'environnement sonore dans lequel il se trouve.

Nous n'avons effectué aucune modification sur ce programme à l'exception du fait que nous avons désactivé la compression fréquentielle sur chacun des appareils afin de tenir compte de chaque fréquence du signal.

Pour chacune des **4 paires d'appareils testées** et pour **chacune des 4 situations testées** (restaurant, rue, vent, voiture), nous avons créé 2 à 4 programmes manuels caractéristiques de la situation testée. A chaque fois, nous avons un **programme manuel spécifique d'une situation donnée** réglé par **défaut** c'est-à-dire avec la **gestion de l'environnement prescrit par le fabricant** et ce **même** programme pour lequel vous avons réglé les algorithmes d'intérêts de réduction du bruit c'est-à-dire ceux caractéristiques de la situation donnée, **au maximum** ainsi que le mode microphonique nous permettant d'avoir le faisceau directif le plus étroit possible. Le but est de tester les algorithmes de réduction du bruit et les différents modes microphoniques lorsqu'ils sont réglés au maximum de leur capacité.

De la même manière, pour chacune des **4 paires d'appareils testées** et pour **chacune des 4 situations testées**, nous avons une **session de réglage correspondant au gain prescrit par le fabricant** et une **session de réglage pour laquelle les 2 paires d'appareils étaient réglés de telle sorte à ce que leur gain soit le plus proche possible.**

Nous avons contacté les fabricants afin qu'ils puissent nous renseigner sur le réglage qui serait le plus approprié à chacune des situations testées.

Pour une même situation, la nomination d'un programme spécifique d'une situation donnée diffère parfois d'un fabricant à l'autre. Néanmoins elle caractérise tout de même une même situation.

Par exemple, pour la situation d'écoute au restaurant et dans la rue, nous avons un programme « parole dans le bruit » chez Phonak et Oticon, alors que nous avons le programme « environnement bruyant » chez Signia et « restaurant » chez Starkey. Il en va de même pour les programmes spécifiques de la situation « voiture » et « vent ». Lorsque nous avons réglé au coupleur nos appareils de classe I et II de la même manière, il a fallu le faire pour chacun des programmes car pour certaines marques, le passage d'un programme manuel à un autre, modifiait légèrement le gain (par exemple le passage de « parole dans le bruit » à « parole dans le bruit intense » chez Phonak). Il arrivait aussi que la mise au maximum des algorithmes de réduction du bruit modifie le gain de manière non significative.

Le programme automatique est celui sur lequel se trouve le patient « par défaut ». L'appareil adapte automatiquement son traitement en fonction de l'environnement sonore dans lequel se trouve le patient.

Les programmes manuels nous permettent de s'assurer que l'appareil est effectivement dans le programme caractéristique de l'environnement sonore testé et de tester les algorithmes activés au maximum.

Les tableaux **annexes 8, 9, 10 et 11** récapitulent l'ensemble des réglages pour chacune des situations testées.

4. Algorithmes testés

Nous distinguons plusieurs types d'algorithmes pour lesquels nous pouvons régler l'intensité d'activation entre « faible », « moyen » et « fort ». Nous pouvons les classer en 4 catégories : les algorithmes destinés à réduire le bruit ambiant de type stationnaire, les algorithmes de réduction du bruit en présence de parole, les algorithmes de réduction des bruits impulsionnels et enfin ceux qui sont intrinsèquement liés à un mode microphonique directionnel.

- **Audéo L90-R et M30-312 de PHONAK (Annexe 8).**

Contrairement au M30-312, le L90-R est capable de s'adapter à des environnements sonores beaucoup plus variés.

En effet, il possède des programmes et des algorithmes beaucoup plus nombreux que le M30-312, notamment le « SoundRelaxe » qui est un algorithme propre à la réduction des bruits impulsionnels c'est-à-dire des bruits forts et brefs et le « WindBloc » qui est un algorithme de réduction des bruits de vent.

En programme automatique, sur le L90, il est possible de régler le mode microphonique sur « Omnidirectionnel », « Real ear Sound », « Directionnel » ou « Ultrazoom ». Par défaut, il est sur « Real Ear Sound ». Sur le M30, on dénombre 2 modes microphoniques : « Omnidirectionnel » par défaut ou « directionnel fixe ».

On retrouve la même chose en réglage manuelle mais le fonctionnement microphonique du L90-R est associé à plus de réducteurs de bruit spécifiques.

Le mode microphonique « StéréoZoom » est propre à l'appareil de classe II. Il nous est imposé en programme « parole dans le bruit intense ». Il permet de bénéficier d'un « faisceau directionnel **binaural adaptatif**, modifiant l'effet directionnel en **fonction de l'intensité du bruit** ». Ce mode microphonique est intrinsèquement lié à l'algorithme « suppression de la dynamique du bruit ». En effet, il est défini comme fonctionnant « avec la directivité microphonique pour réduire le bruit de l'arrière et des côtes afin d'améliorer la parole de face ». D'après une étude Phonak (Phonak professionnel), il s'agit d'un système microphonique qui doit être utilisé dans des « situations extrêmement difficiles de bruit diffus ». Il consiste en la création d'un « réseau de microphone multiple avec des aides auditives binaurales interconnectées par une technologie sans fil.

Le système de double microphone de l'appareil droit est relié aux systèmes de double microphone de l'appareil gauche et vice versa ». Ceci permet d'avoir un faisceau directionnel très focalisé. Ce microphone permet notamment de se focaliser sur la parole d'une personne en face dans une situation extrêmement bruyante.

Enfin le mode microphonique « UltraZoom » est présent sur chacun des 2 appareils. Il s'agit d'un faisceau directionnel adaptatif monaural. Il est défini comme « premium » pour le L90-R signifiant qu'il se veut être plus efficace que celui du M30-312 définie comme « essentiel ». Il est caractéristique du programme manuel « parole dans le bruit » pour les deux appareils.

Le « NoiseBloc » est présent sur chacun des 2 appareils. Il est « particulièrement efficace pour réduire le bruit ambiant inconfortable. Il reconnaît les différences subtiles entre la parole et les sons autres que la parole, supprimant le bruit tout en conservant l'audibilité » (PhonakPro).

Pour nos enregistrements en voiture, nous avons choisi de créer un programme manuel « Parole à 360° ». L'algorithme qui le caractérise est le « ZoomControl ». C'est un algorithme permettant « d'orienter automatiquement la direction vers le signal de parole ». Par défaut, la direction est réglée sur « automatique » c'est-à-dire que l'algorithme détecte automatiquement la direction dans laquelle provient la parole. Dans notre cas, nous avons testé à la fois la direction « automatique » par défaut et la direction « gauche » permettant à la parole parvenant de la gauche d'être transférée sur l'oreille controlatérale droite : nous avons donc un transfert du meilleur RSB. En effet, selon une étude Phonak intitulée « Auto ZoomControl : Focalisation automatique sur les signaux vocaux utiles », « Si l'utilisateur décide d'utiliser ZoomControl et de focaliser son audition vers la droite, différents événements se produisent simultanément.

La sensibilité du microphone gauche est atténuée de telle sorte qu'il ne prélève pas de signaux venant de la gauche, et l'aide auditive droite adopte un réglage assurant la meilleure perception possible vers la droite. Les signaux prélevés par l'aide auditive droite sont transmis sans fil et en temps réel vers l'aide auditive gauche où ils sont amplifiés selon son propre modèle de gain. Le résultat, c'est que l'utilisateur entend dans ses deux oreilles les signaux optimisés venant de droite, amplifiés aux niveaux appropriés ».

Pour la marque Phonak, nous avons créé deux programmes spécifiques du traitement de la parole en présence de bruit : « parole dans le bruit intense » caractérisé par le mode microphonique « StéréoZoom » et « parole dans le bruit » dont le mode microphonique le plus focalisé est l'ultraZoom.

- **Evolv AI 2400 MRIC-312 et Livio 1200 RIC 312 (Annexe 10)**

Nous dénombrons différents modes microphoniques parmi lesquels les modes microphoniques dit « adaptatif » et « dynamique » qui sont des modes microphoniques automatiques et les modes « omnidirectionnels » et « directionnels » qui sont des modes fixes. Le mode adaptatif permet une atténuation automatique et adaptative afin de « préserver la parole autour de l'utilisateur ». Le mode dynamique permet un « basculement automatique » entre les modes omnidirectionnels et directionnels en fonction de l'environnement sonore dans lequel se trouve le patient. Le mode directionnel permet d'amplifier de manière sélective l'information sonore se trouvant devant l'utilisateur plutôt que celle située derrière. Enfin, le mode omnidirectionnel amplifie le signal dans toutes les directions de l'espace de manière uniforme.

Concernant les algorithmes présents dans le « Sound Manager », ce qui nous intéresse particulièrement sont « parole dans le bruit », « transitoire » et « vent ». L'algorithme « parole dans le bruit » est défini comme « Système de gestion du bruit réactif et de préservation de la parole conçu pour garantir la compréhension de la parole dans le bruit et réduire l'effort d'écoute ». Cet algorithme fournit une gestion du bruit ultra rapide. Il analyse et filtre le bruit entre les syllabes de la parole.

Il s'agit d'un algorithme monaural : chaque aide auditive applique la réduction de gain approprié dans chaque canal de façon très réactive (communication personnelle avec un formateur Starkey, octobre 2022).

Sur le classe II, sa position de réglage varie de OFF à 4, cette dernière indiquant que l'atténuation peut s'étendre au maximum à 22 dB. Par défaut, cet algorithme est réglé sur 3 correspondants à une atténuation pouvant aller jusqu'à 12 dB.

Sur le classe II, nous pouvons soit le régler sur OFF soit sur ON par défaut, correspondant à une atténuation maximale de 6 dB.

L'algorithme « Transitoire » définie comme permettant la « Réduction du bruit transitoire » est un algorithme de « réduction de bruit à action rapide, conçu pour atténuer rapidement les signaux acoustiques transitoires sans déformer les voix ni les sons environnants importants ». Il ne correspond pas uniquement au son fort, il traite les sons incongrus qu'ils soient forts ou non (Stage Starkey). Sur le classe II, il est réglé sur le cran 3 par défaut ce qui correspond à une atténuation pouvant s'étendre au maximum jusqu'à 12 dB. Le maximum, au cran 4, correspond à une atténuation de 15 dB. Sur le classe I, il est réglé sur ON par défaut correspondant à une atténuation maximum de 6 dB.

Enfin l'algorithme « Vent » est défini comme « Algorithme de réduction de bruit conçu pour garantir le confort en présence de vent si des turbulences sont détectées au niveau des micros ». Il s'active uniquement lorsqu'il y a un effet de vortex (stage Starkey). Sur le classe II, il est réglé sur le cran 3 par défaut correspondant à une atténuation pouvant atteindre 24 dB. Au maximum, cette atténuation peut atteindre 32 dB. Sur le classe I, il est réglé par défaut sur ON ce qui correspond à une atténuation d'au maximum 7 dB.

- **Pure C&G 7AX M (119/60) et Pure 2PX (annexe 9)**

L'algorithme d'intérêt de réduction du bruit est le TPB pour « traitement de la parole et du bruit ». Nous pouvons le régler en « large bande » ou par bandes multiples. Nous avons fait le choix de le laisser comme par défaut, en bande large, afin d'avoir une vision du traitement de l'ensemble des fréquences par défaut. Il est possible de le régler sur 4 niveaux parmi lesquels le niveau OFF, minimum, médium et max.

Par défaut, sur le programme automatique nommé « universel » et sur le programme « Environnement bruyant », il est réglé sur médium.

Concernant le 7AX, en mode automatique le mode microphonique transite automatiquement entre 4 modes différents en fonction de l'environnement sonore dans lequel se trouve le patient. Ces 4 modes sont :

- TruEar : il est défini comme permettant de simuler «la directivité pavillonnaire permettant l'amélioration de la localisation avant/arrière » (cf logiciel Connexx).
- Directivité adaptative : ce mode permet de réduire « les bruits à l'arrière et sur les côtés en fonction de l'environnement. Il est particulièrement utile dans les situations avec des sources de bruit changeants ».

- SuperFocus : ce mode permet « de se focaliser sur la parole provenant de la source tout en supprimant le bruit en provenance des autres directions.
- Spatial SpeechFocus : Ce mode microphonique « détecte la voix forte et proche tout autour de l'utilisateur et dirige le faisceau directionnel dans cette direction (avant, arrière, gauche, droite). Dans le programme universel, il ne s'activera que lorsque la situation sonore voiture est détectée ». Ce mode utilise la binauralité.

En programme manuel « Environnement bruyant », nous retrouvons en commun avec le programme « universel » uniquement le mode « directivité adaptative » et « SuperFocus ». En revanche, le mode « directionnel fixe » est propre au programme « environnement bruyant ». Par défaut, dans ce programme, il est réglé sur SuperFocus.

Lors des enregistrements dans le vent, Nous avons créé 2 programmes manuels « Activité de plein air » dont l'algorithme d'intérêt est le « eWindScreen ». Il est défini comme réduisant « les perturbations liées au bruit du vent dans les environnements extérieurs ». Il est ajustable sur 3 niveaux : minimum, médium et maximum. Par défaut, il est réglé sur maximum. Le mode microphonique imposé est le mode « TruEar ».

Il n'existe pas de programme spécifique « en voiture ». Nous avons donc créé 2 programmes manuels « Universel » afin de choisir manuellement le mode Spatial SpeechFocus qui détecte la voix et oriente ensuite le faisceau directionnel dans cette direction.

- **More 1 RIC Rechargeable et Siya 1 RIC 312 d'OTICON (annexe 11)**

La philosophie de réglage Oticon est assez spécifique car le mode microphonique qui la caractérise est le mode « neuronale ». Elle se veut permettre au patient « d'accéder à tous les sons de manière équilibrée ».

Elle est basée sur la philosophie « BrainHearing » dont le but est de restituer au cerveau l'ensemble de la scène sonore de façon équilibré et non uniquement la parole, afin qu'il puisse bénéficier de l'intégralité des données sonores, nécessaires au traitement et à l'interprétation de l'information sonore. Le gestionnaire de l'environnement (MoreSound Intelligence) « balaie la scène sonore 500 fois par seconde, ce qui se traduit par une analyse précise de tous les sons et de la complexité de l'environnement ».

Il est constitué :

1. D'un curseur permettant de définir quelles situations sont définies par le patient comme faciles ou difficiles. C'est en fonction de cela que s'effectuera par la suite la gestion du son.
2. Le débruteur est classé en deux catégories, ceux s'appliquant aux situations faciles et ce s'appliquant aux situations difficiles :
 - a) La suppression neuronale du bruit-Facile : cet algorithme permet « d'augmenter le contraste entre les bruits de fond et le son en premier plan qui entoure l'utilisateur ».
 - b) La suppression neuronale du bruit-difficile : cette configuration « requiert plus d'assistance de la part de l'aide auditive ».
3. Virtual Outer Ear correspond à l'effet pavillonnaire. Il peut être réglé sur élargie, équilibré ou focus.
4. Le Sound Enhancer. Il fonctionne seulement si la suppression du bruit dite « difficile » est active. Il permet au patient de choisir sur quel détail de la scène sonore il souhaite se focaliser.

Par sa philosophie, le More 1 ne possède pas de programme spécifique de la situation « en voiture », et la gestion du vent est présente mais « transparente » pour l'audioprothésiste sur le logiciel (communication personnelle OTICON, octobre 2022).

Elle correspond au WindSound Management dont la gestion permet de réduire « le bruit du vent jusqu'à 30 dB, même entre les mots ».

Enfin, nous dénombrons aussi un module de gestion des bruits transitoires permettant de protéger le patient « contre les bruits forts soudains avec une récupération rapide du gain pour préserver l'audibilité ». Il y a 4 niveaux de traitement. Par défaut, il est réglé sur « moyen ». Nous le laissons tel quel.

Pour cette marque, nous avons deux programmes où les algorithmes de réduction du bruit sont réglés au maximum, l'un où le mode microphonique est dit « neuronal » et l'autre où il est directif.

II. RESULTATS :

Nous avons réalisé plus de 700 enregistrements d'environ 1 minute. Ceci comptabilise ceux que nous présentons mais aussi ceux qu'il a fallu refaire pour plusieurs raisons techniques. Bien qu'il ne s'agisse pas du sujet du mémoire, nous avons aussi réalisé des enregistrements au restaurant universitaire et dans la rue, avec les appareils de classe I en même temps (en monaurale) et des paires d'appareils de classe II, 2 à 2, en binaurale, afin de respecter la binauralité de certain algorithme. Le but étant d'analyser les différences classe I-Classe II intra-marque, en ayant une idée des différences qui existent à l'écoute entre les classes I, entre eux et les classe II, entre eux.

Pour analyser nos enregistrements, nous avons extrait via Matlab des figures correspondant des spectres, des oscillogrammes et des spectrogrammes. **Le code Matlab nous permet de comparer un même instant, traité par l'appareil de classe I et II.** Le spectrogramme permet de représenter la fréquence en Hertz en fonction du temps en secondes. Il permet de représenter l'énergie véhiculée par chaque fréquence au cours du temps.

Dans notre cas, étant donné que nous étudions aussi l'impact du bruit sur la parole, nous pouvons parler plus spécifiquement de sonogramme. Ce dernier nous permet de visualiser les formants de la parole. Les formants correspondent à la « fréquence de résonance maximum de l'enveloppe spectrale du signal de la parole à un instant donné (d'apr. F. Carton, Introd. à la phonét. du fr., Paris, Bordas, 1974, p. 236).

Ici, l'**intensité (forte ou faible)** du signal dans le spectrogramme est indiquée sous forme de **luminosité**, tandis que les différences entre les signaux sont indiquées par des couleurs. **Les parties de signal réduites dans le deuxième signal sont colorées en rouge, les parties de signal augmentées sont colorées en vert. Les parties de signal inchangées sont blanches.**

Le **spectre** représente d'amplitude du signal en ordonnée (dB) et la fréquence en abscisse (Hertz). Il nous permet de visualiser l'amplitude de chacune des fréquences composant notre signal, sur un laps de temps donné (la fenêtre d'analyse que nous avons choisie). A chaque fois, nous obtenions 2 courbes : une courbe **bleu** correspondante au gain délivré par l'appareil de **classe I** au temps t d'analyse et une courbe **rose** correspondant à celui de l'appareil de **classe II**.

Enfin, l'**oscillogramme** nous permet de représenter cette fois-ci l'amplitude du signal en fonction du temps en secondes. Cela nous permet d'obtenir les enveloppes des signaux étudiés évoluant au cours du temps. De la même manière qu'avec le spectre, nous obtenions 2 courbes : une courbe **bleu** assigné au **classe I** et la **violette** au **classe II**.

Les tableaux en annexe récapitulent l'ensemble des programmes et situations testés pour chacune des marques.

Pour chaque situation, nous avons analysé sur Matlab **une trame temporel donnée** correspondant à un instant délimité où le locuteur ne parle pas et pour laquelle on ne considère que **le bruit « seule »** et des trames temporelles correspondant à l'analyse d'une **phrase donnée** que le locuteur énonce. Ainsi, **les figures illustrent soit un moment de bruit « seule » soit un moment où le locuteur énonce une phrase dans une situation d'écoute donnée.**

Chaque situation est illustrée par une vidéo à laquelle vous pouvez avoir accès en cliquant sur le lien. Afin d'optimiser votre écoute, le mieux est de vous munir d'écouteurs.

I. APPAREIL OTICON

I.A. Situation d'écoute au restaurant universitaire.

Ayant obtenu les mêmes résultats en programme « automatique » qu'en programme « parole dans le bruit par défaut (mode microphonique neuronal) », nous avons fait le choix de présenter la situation « parole dans le bruit ». Aussi, cela nous a permis de déduire que l'appareil a effectivement analysé l'environnement sonore dans lequel il se trouvait lorsqu'il était en mode automatique.

I.A.1- Programme « parole dans le bruit neuronal » par défaut avec le réglage préconisé par le fabricant.

Lien : <https://youtu.be/mF2QhKYa9CQ>



Lorsque nous réglons les appareils avec le réglage prescrit par le fabricant, nous constatons grâce aux courbes obtenues à la chaîne de mesure (ci-dessous, figure de droite), que le réglage de l'appareil de classe 2 (More 1) est à 5 à 8 dB plus fort que l'appareil de classe 1 (Siya 1). Cela est particulièrement vrai pour les fréquences comprises entre **125 et 4000 Hz**.

Ainsi, à l'écoute, avec le classe II, cette différence de gain est ressentie sur la parole qui est plus amplifiée. Le bruit l'est aussi mais dans une mesure qui semble moindre, en particulier lorsque nous enregistrons lorsque le locuteur parle de face (sous-entendu, par opposition à la situation pour laquelle le locuteur en face ne prend pas la parole et qu'on analyse seulement le bruit ambiant).

Le gain du More 1 est 5 à 8 dB au-dessus de celui du Siya 1 de [125, 4000] Hz pour chacun des 3 niveaux d'entrées (courbes violette, rose et bleu).

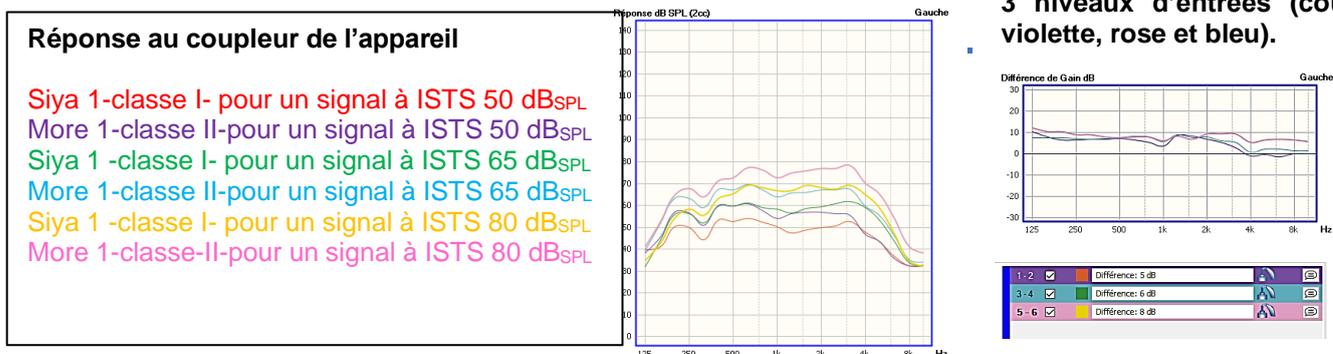


Figure 7 : A gauche, les courbes des réponses au coupleur des appareils Siya 1 et More 1. A droite, les **différences** de gains au coupleur entre les deux appareils pour des signaux ISTS à 50dB_{SPL}, 65dB_{SPL}, 80dB_{SPL}.

Brouhaha « seul » lorsque l'interlocuteur en face ne prend pas la parole.

Le **spectre**, ci-dessous (au milieu), représente l'amplitude en dB en fonction de la fréquence pour le passage que l'on analyse. Les courbes représentent l'amplitude en dB pour chacune des fréquences comprises entre 125 et 8000 Hz. La courbe **rose** correspond à l'appareil de **classe II** et la courbe **bleu**, à celle de l'appareil de **classe I**.

L'**oscillogramme** (figure de droite) représente l'amplitude en fonction du temps. De la même manière, la sortie de l'appareil de **classe I** est représentée **en bleu** et celle du **classe II** en **violet**.

Nous avons ici les courbes du spectre (figure de gauche) dont le pattern reflète la répartition initiale du gain. Le bruit est plus amplifié avec l'appareil de classe II.

Nous sommes ici en présence d'un « bruit ambiant » constitué d'un **mélange**, à la fois des mouvements et conversation adjacentes des étudiants du self. Le locuteur est face du **mannequin et ne parle pas**.

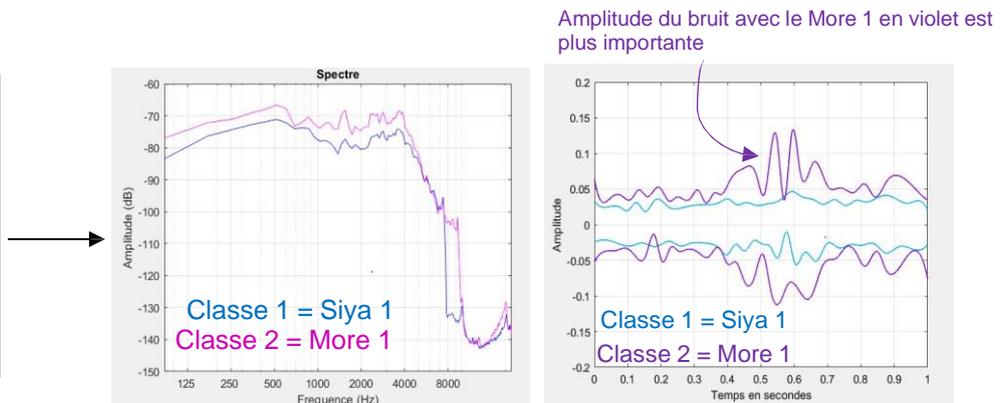


Figure 8 : Spectre à gauche et enveloppes temporelles à droite, des signaux enregistrés avec les AA More 1 et Syia 1.

Nous considérons ici le « brouhaha » du restaurant universitaire « seule » sous-entendu la situation dans laquelle l'interlocuteur en face du mannequin **ne parle pas**. Ainsi, lorsque nous ne considérons que le « bruit ambiant », son niveau est plus fort avec l'appareil More 1 car le réglage par défaut est plus fort de plus de **5dB de 125 à 4000 Hz** (la courbe rose est au-dessus de la courbe bleue sur le spectre (figure de gauche)) et l'amplitude du bruit est plus importante (en violet sur l'oscillogramme à droite).

Si nous considérons désormais un instant où **l'interlocuteur parle en face** du mannequin (plus précisément la phase, « il fait beau, je pensais aller me promener au parc »), nous constatons **à l'écoute** que le bruit et la parole sont plus importants avec l'appareil de classe II qu'avec celui de classe I.

Mais l'émergence de la parole avec l'ACA de classe II **est beaucoup plus importante que l'augmentation du bruit ambiant entre les deux appareils. En d'autres termes, il semblerait que pour une augmentation du bruit moindre, l'émergence de la parole soit beaucoup plus importante avec l'ACA de classe II qu'avec celui de classe I.**

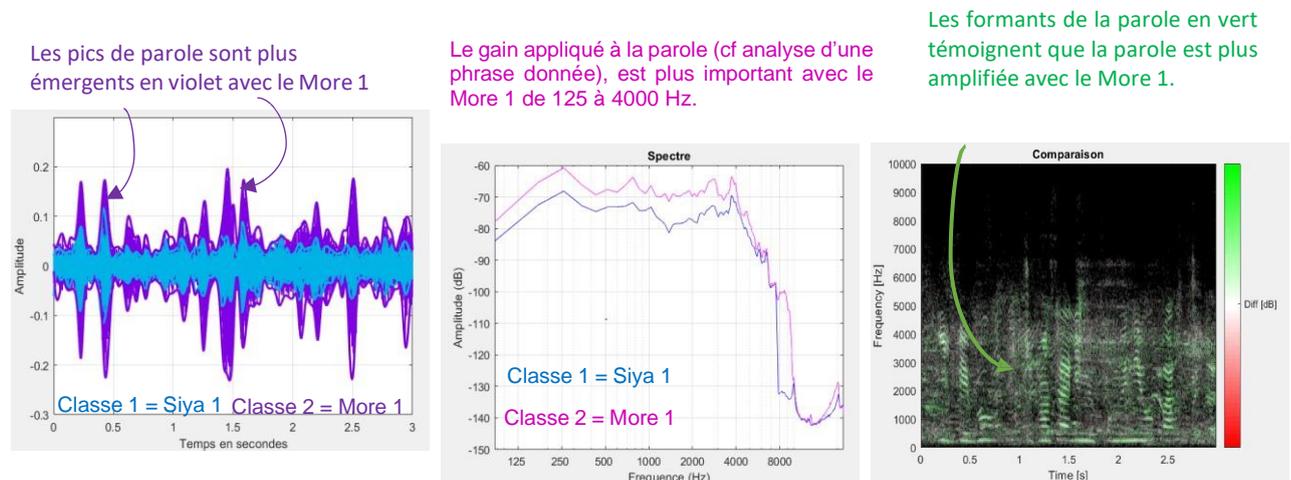


Figure 9 : A droite, l'oscillogramme en bleu de l'appareil de Classe I et en violet l'appareil de classe II. Au milieu, le spectre pour des deux appareils. À droite, le spectrogramme de comparaison de la phrase : « Il fait beau, je pensais aller me promener au parc »

I.A.2 Programme « parole dans le bruit neuronal » par défaut, avec un réglage similaire entre les deux appareils.

Lien : <https://youtu.be/6YMz0NNN1wc>



Lorsque nous réglons l'appareil de classe I et de classe II avec le même réglage correspondant aux cibles de l'appareil de classe I, le niveau de « bruit » est semblable entre les deux appareils. Une légère différence de 2 à 3 dB d'atténuation sur l'appareil de classe II est observée sur le spectre mais la différence reste faible. Nous enregistrons ici au restaurant universitaire donc le bruit est aussi constitué par la parole des conversations adjacentes plus ou moins proche d'où la présence des formants (figures en annexe 6).

Brouhaha lorsque l'interlocuteur parle en face du mannequin

Concernant la parole, nous obtenons des résultats variables car nous n'entendons pas de différence flagrante pour chacune des phrases. Parfois, la parole semble plus nette.

Le niveau de bruit **en présence de parole** de face semble atténué.

Les pics de la parole émergent davantage avec le classe II en violet.



Le gain entre les deux appareils en relativement proche sur les fréquences comprises entre 125 et 8000 Hz.

Variabilité du traitement illustrée par la variabilité de la couleur des formants (cf explication ci-dessous).

Figure 10 : Analyse de la phrase : « Il fait beau, je pensais aller me promener au parc ». A gauche, en bleu l'oscillogramme de l'appareil de Classe I et en violet celui de l'appareil de classe II. Au milieu, le spectre des deux appareils. A droite, le spectrogramme de comparaison de la phrase.

Nous voyons sur l'oscillogramme (figure de gauche) que les fluctuations d'amplitudes de la parole sont beaucoup mieux définies c'est-à-dire que le bruit autour de la parole est sélectivement atténué : les creux de la parole sont donc plus précis car « nettoyer » du bruit ambiant. Cela semblerait donc nous indiquer que le débruitage est plus efficace avec l'appareil de classe II. Sur le spectrogramme (figure de droite), nous voyons que les formants sont soit blancs, soit verts et que des ponctuations rouges sont aussi présentes sur et autour des formants. Cela indique que respectivement, la parole est tantôt plus forte, tantôt égale, tantôt mieux débruité et parfois même plus atténuée avec le classe II qu'avec l'AA classe I.

I.B. Situation d'écoute dans la rue



I.B.1- Programme « automatique » avec le réglage prescrit par le fabricant.

Lien : <https://youtu.be/qQeALsx4FAo>

Emergence de la parole en violet avec l'AA de classe 2.

Le gain avec le classe II est plus important d'environ 6 dB de 125

Les formants en vert témoignent que la parole est ici logiquement plus forte avec le classe II.

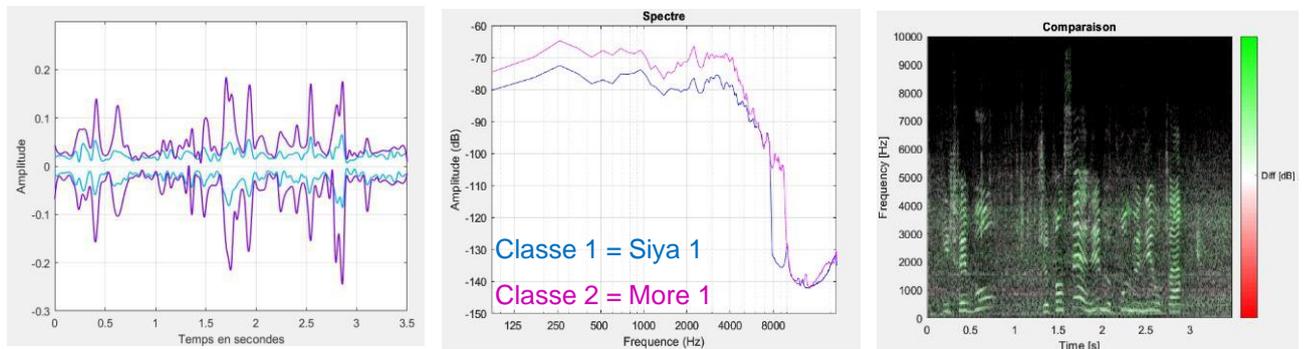


Figure 11 : de gauche à droite, oscillogrammes, spectres et comparaison de spectrogrammes de la phrase « Il fait beau, je pensais aller me promener au parc » pour le Siya 1 et le More 1.

Le réglage est plus fort d'environ 6 dB avec l'appareil de classe II (comme vue plus haut à la chaîne de mesure), la parole semble profiter davantage de ce gain que le « bruit », comme pour la situation « restaurant ».

I.B.2- Programme « automatique » avec un réglage similaire entre les deux appareils

Lien : <https://youtu.be/QQd3wyTbD08>



Avec un réglage identique, le « bruit » est très légèrement atténué par le More 1. Grâce aux figures ci-dessous, nous constatons que le signal enregistré sur le More 1 est plus important lorsqu'il y a de la parole de face (figure 13) et moins important lorsqu'il n'y a que du « bruit » autour (figure 12).

Sur les oscillogrammes (à gauche et au milieu), la démarcation violette plus étroite traduit le fait que l'atténuation du bruit avec le classe II est plus importante que celle médiée par l'AA classe I.

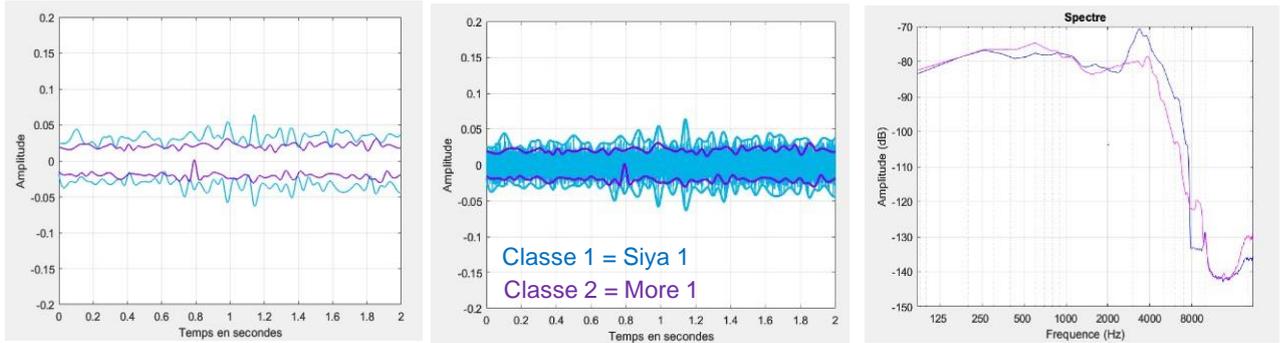


Figure 12 : A gauche et au milieu, deux représentations de l'oscillogramme, à droite, le spectre lorsque l'interlocuteur ne parle pas c'est-à-dire en présence de bruit « seule ».

Sur le spectre (à gauche), comparativement à celui de la figure 12, l'atténuation du gain avec le classe II est moins importante ici (courbe rose).

La différence d'amplitude entre le classe I et II est moins marquée, comparativement à la figure 12, bien que la parole émerge légèrement plus (pic violet) avec l'AA de classe 2.

Formant vert témoignant de l'amplification de la parole plus importante avec le classe II.

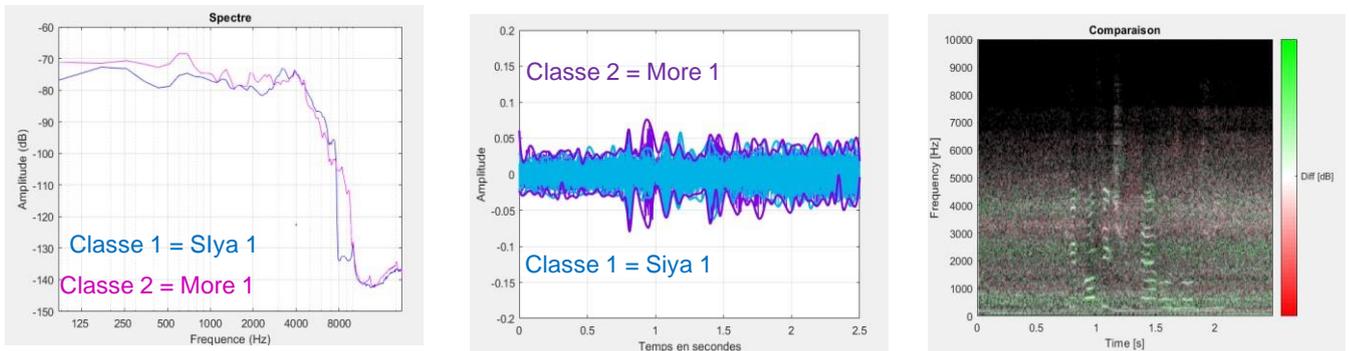


Figure 13 : Spectres, oscillogrammes et comparaison de spectrogrammes de la phrase « Que pensais-tu faire aujourd'hui ? » pour le Siya 1 et le More 1.

I.C- Situation d'écoute dans le vent

I.C.1 – Programme « parole dans le bruit au maximum » avec le réglage préconisé par le fabricant

Lien : <https://youtu.be/86vTV62uxkcv>



Avec le réglage fabricant, le More 1 est réglé avec un gain supérieur de 6dB par rapport à l'appareil de classe I et pourtant lorsqu'il n'y a pas de parole venant de face, le bruit est équivalent au classe I (figure 14 et complément en annexe 6). Lorsqu'il y a un interlocuteur, la parole est amplifiée par rapport à l'appareil de classe I (figure 15 en annexe 6).

Sur le spectre (ci-dessous), nous voyons que **de 250 à 500 Hz**, le gain de l'AA de classe II est environ 10 dB en deçà de celui qui classe I, puis de 500 à 1 kHz, nous voyons les courbes des deux appareils s'infléchir vers le bas : cela nous indique donc que nous avons une atténuation du gain à ces fréquences pour les 2 appareils.

L'atténuation des fréquences comprises entre 125 et 250 Hz est 10 dB supérieur pour l'AA de classe 2 comparativement au classe 1.

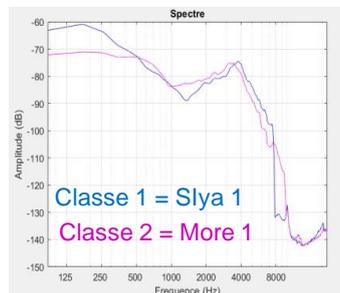


Figure 14 : spectre des appareils de classe I(bleu) et II (rose) en présence de vent sans intervention de l'interlocuteur pour le Siya 1 et le More 1.

Initialement, le gain de l'appareil de classe II était supérieur à celui du classe I alors qu'ici, de 125 à 250 Hz, le gain du classe II est 10 dB moins fort. Le gain est beaucoup plus proche pour les autres fréquences (figures supplémentaires 14 et 15 en annexe 6).

I.D- Situation d'écoute en voiture

I.D.1 – Programme « parole dans le bruit au maximum » avec un réglage similaire entre les deux appareils.

Lien : <https://youtu.be/tWX3vyWtmfU?si=KcPe1Rt9EAn8aAXH>



Avec ce programme, nous avons une atténuation du bruit de manière générale et plus particulièrement du bruit du moteur, permettant à la parole d'être beaucoup plus claire : sur le spectrogramme (figure 16 à droite) les formants sont blancs ou légèrement verts.

L'enveloppe temporelle du bruit est moins ample pour l'AA de classe II en violet comparativement au classe I est bleu

Atténuation du gain dans les fréquences graves

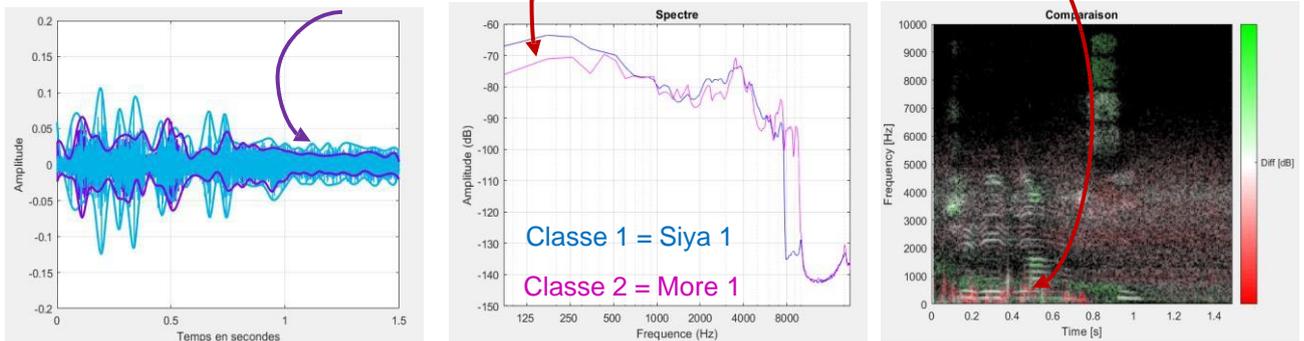


Figure 16 : A gauche, l'oscillogramme de la phrase « Je vais bien merci. » à travers les deux appareils. Au milieu, les spectres. A droite, les comparaisons de spectrogramme.

II- Appareil PHONAK

II.A- situation d'écoute au restaurant

II.A.1- Programme « automatique » avec le réglage préconisé par le fabricant.

Lien : <https://youtu.be/Xu2GnEIWIMc> (QR code plus bas).

Pour ces enregistrements, les appareils de classe I (Marvel 30) et classe 2 (Lumity 90) ont été réglés avec le réglage préconisé par le fabricant pour une perte plate de 50 dB_{HL}. Au coupleur 2cc, nous remarquons (figure de droite) que les gains pour un signal ISTS à 50 dB SPL sont moins importants sur l'appareil de classe I d'environ 7 dB en moyenne. Les gains sur les sons moyens et forts sont plus proches, respectivement 3 dB et 1 dB d'écart.

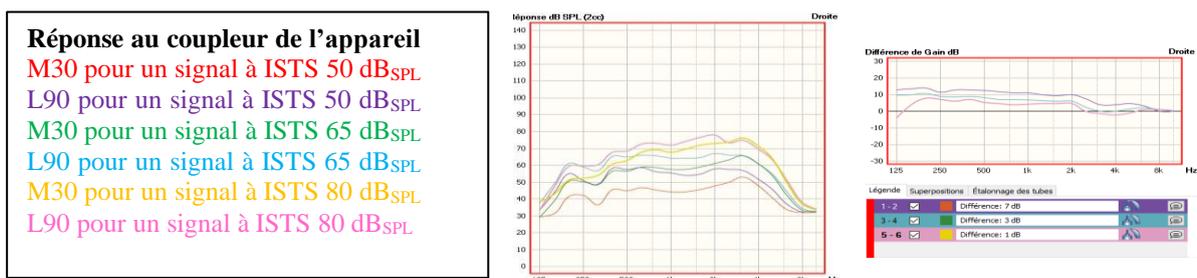


Figure 17 : A gauche, les courbes des réponses au coupleur des appareils M30 et L90. A droite, les différences de gains au coupleur entre les deux appareils pour des signaux ISTS à 50dB_{SPL}, 65dB_{SPL}, 80dB_{SPL}.

Brouhaha « seul » lorsque l'interlocuteur ne parle pas (instants d'enregistrement particulièrement bruyant).

Sur la figure 18, l'oscillogramme bleu représente le brouhaha amplifié par l'aide auditive de classe I et en violet celui par celle de classe II. Nous constatons **que l'amplitude du bruit est plus importante pour l'appareil de classe I**. Les « pics » de bruits sont parfois atténués de moitié.

Ainsi, malgré une amplification plus importante sur les sons faibles dans les situations calmes (+7 dB) avec l'appareil de classe II, en situation bruyante, le bruit ambiant est légèrement moins amplifié.

La figure 18 représentant les spectres des deux appareils montre une atténuation d'environ 5dB du brouhaha. A droite, le spectrogramme de comparaison montre qu'il y a moins d'énergie en sortie de l'appareil de classe 2.

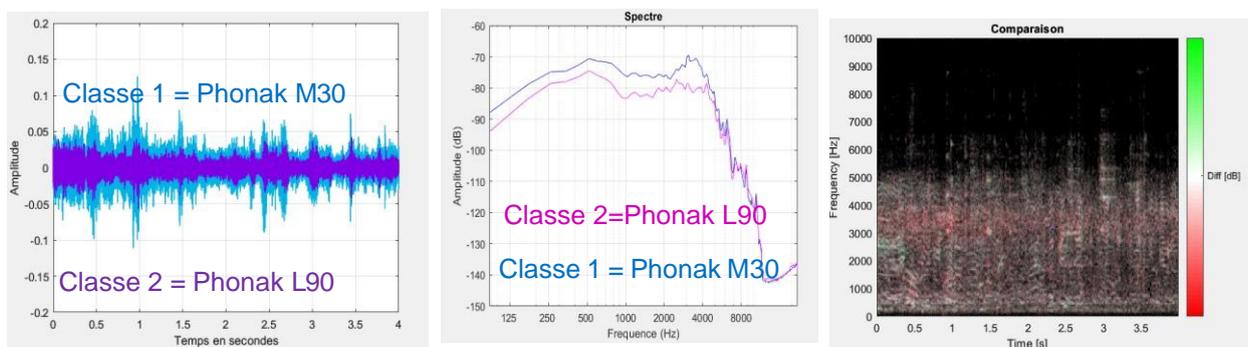


Figure 18 : A gauche, l'oscillogramme de signal en sortie de l'appareil Classe I et en violet celui de l'appareil classe II. Au milieu, le spectre de l'appareil classe I en bleu et de l'appareil de classe II en violet. A droite, le spectrogramme de comparaison.



Brouhaha lorsque l'interlocuteur parle en face du mannequin :

Un autre exemple, illustrant différents aspects du traitement du signal serait :

L'enveloppe de la parole **en présence de bruit** est tantôt plus atténuée avec le classe II en violet tantôt plus ample que celle du classe I en bleu.

Le gain de classe II est légèrement inférieur à celui du classe I sur 125-750 Hz notamment.

En accord avec l'oscillogramme, la couleur des formants est variable.

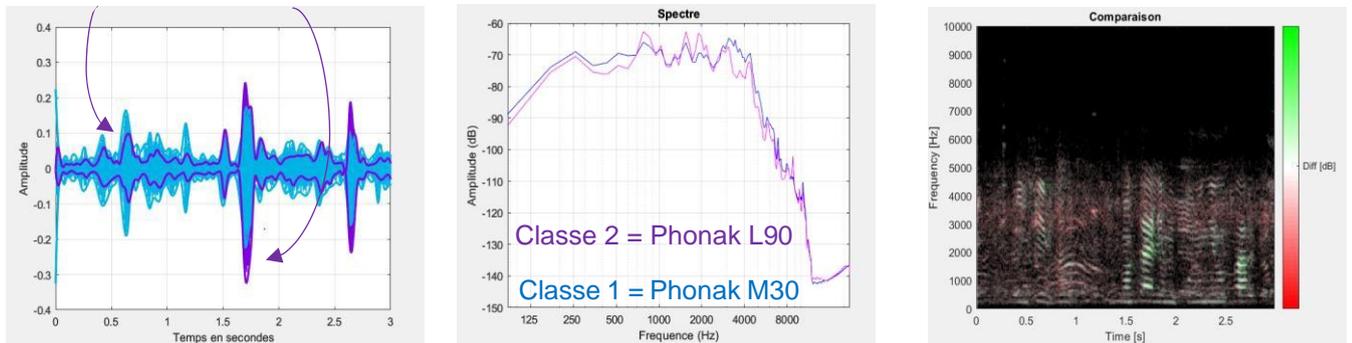


Figure 19 : A droite, l'oscillogramme en bleu l'appareil de Classe I et en violet de l'appareil de classe II, au milieu, le spectre des deux appareils et à droite, le spectrogramme de comparaison chacun pour la phrase : « Il fait beau, je pensais aller me promener au parc ».

I.A.2 Programme « automatique » avec un réglage similaire entre les deux appareils .

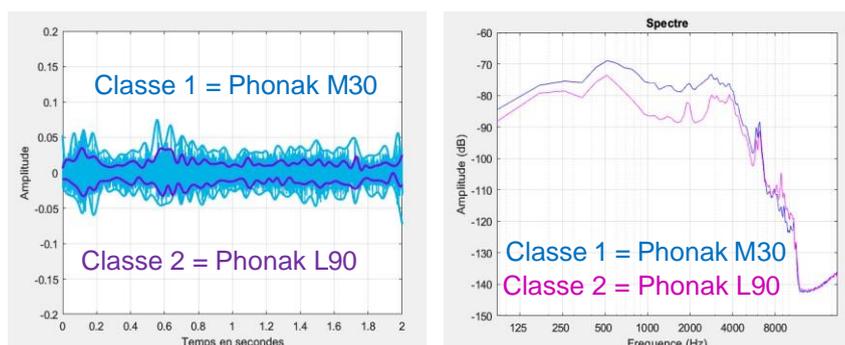


Lien : https://youtu.be/QQ6B_4R2RjM

Nous avons donc réglé les appareils avec des gains identiques correspondants aux cibles du classe I. Bien entendu, lors de situations bruyantes, les appareils adaptent automatiquement légèrement leurs gains.

A l'écoute, la différence entre les appareils classe I et II est plus marquée. Nous constatons que les bruits percussifs sont bien atténués (figure 21). Lorsqu'il y a un « brouhaha » **sans interlocuteur de face**, le bruit est atténué d'environ 7 dB (fig.20).

Enveloppe du bruit moins ample avec l'AA de classe 2 en violet comparativement au classe 1



Comme nous le voyons sur le spectre, nous avons une atténuation du gain, de l'ordre de 10 dB pour les fréquences comprises entre 750 Hz et 3 kHz.

Figure 20 : Oscillogramme et spectre au restaurant sans intervention de l'interlocuteur pour le M30 et L90.

Bruits impulsionnels :

L'atténuation du bruit ambiants et des bruits impulsionnels produit par le choc entre une cuillère et un verre, est illustrée par une baisse du gain appliquée dans les fréquences graves et bas médium sur 500- 1500 Hz sur le spectre (figure du milieu) et une réduction de l'enveloppe visible sur l'oscillogramme (figure de droite).

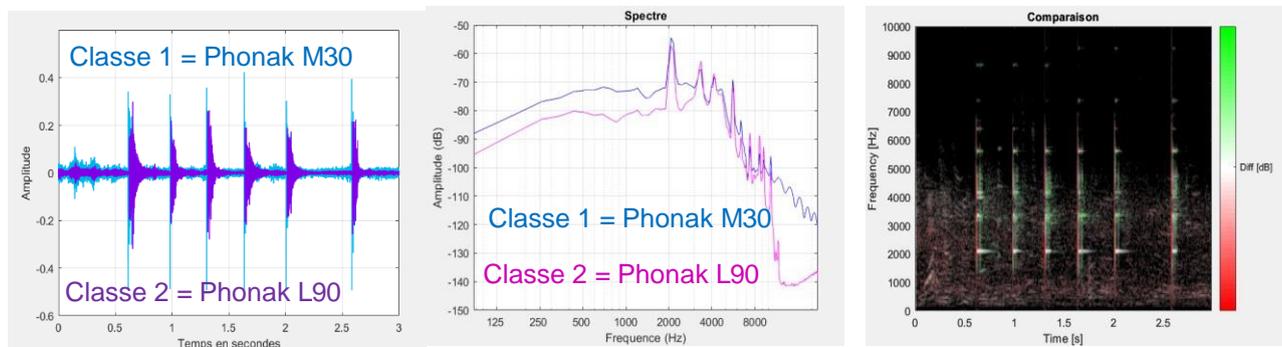


Figure 21 : A gauche, l'oscillogramme des deux appareils pour des bruits percussifs. Au milieu, le spectre moyen sur toute la période. A droite, la comparaison des spectrogrammes.

II.A.3- programme « parole dans le bruit au maximum » avec un réglage similaire entre les deux appareils.

Lien : <https://youtu.be/tD-NIRFOHC0>



Nous avons réglé les appareils de classe I et II avec les mêmes gains en activant au maximum les débruiteurs. A l'écoute, nous constatons qu'avec le L90 (Classe II), le niveau de bruit est davantage réduit (-8dB) et que la parole est augmentée. L'enveloppe de la parole est augmentée (fig.22, oscillogramme à gauche) et la comparaison de spectrogramme (fig.22 à droite) montre une augmentation des formants et indices de la parole. Notons que lors de cet enregistrement, le niveau de bruit ambiant était moins important. Avec un bruit ambiant plus important, les différences pourraient être plus marquées.

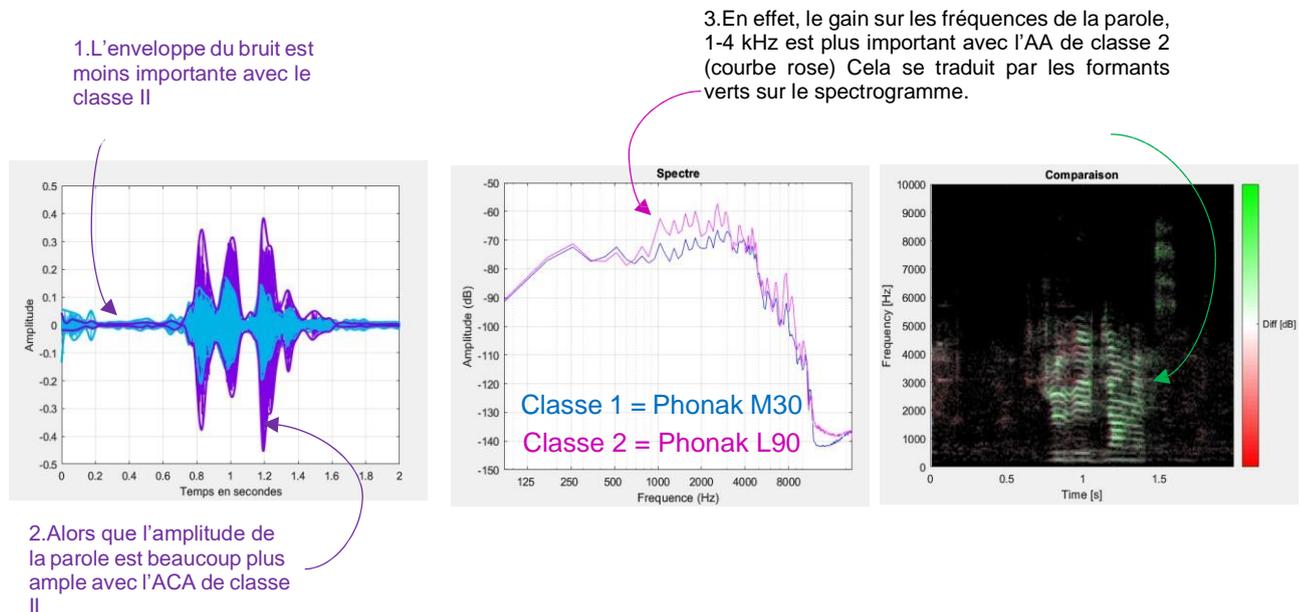


Figure 22 : A gauche, l'oscillogramme de la phrase « Je vais bien, merci. » à travers les deux appareils. Au milieu, les spectres. A droite, les comparaisons de spectrogramme.

II.B- situation d'écoute dans la rue

II.B.1- Programme « parole dans le bruit au maximum » avec un réglage similaire entre les appareils.

Lien : <https://youtu.be/gVAKaQhuRa8>



A l'écoute l'atténuation des bruits est parfois difficile à percevoir. Toutefois, l'enveloppe de la parole est augmentée. La comparaison de spectrogrammes montre que les indices de la parole sont également augmentés avec l'appareil de classe II.

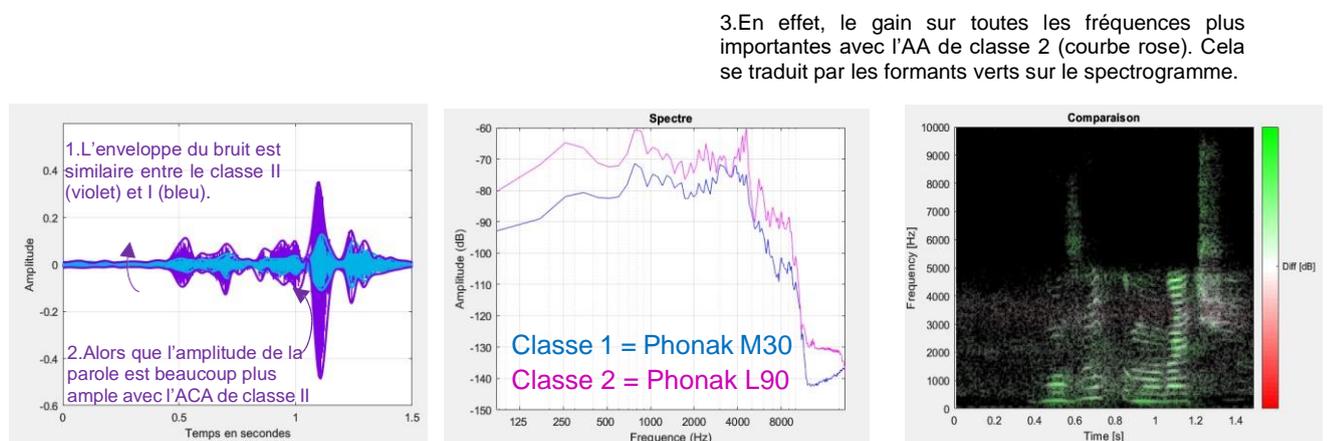


Figure 23 : A gauche, sur les oscillogrammes, l'enveloppe est plus ample avec le L90. Au milieu les spectres. A gauche, la comparaison des spectrogrammes montre une augmentation des indices de la parole avec le L90.

II.C- Situation d'écoute dans le vent

II.C.1- Programme « automatique » avec un gain similaire entre les deux appareils



Lien : <https://youtu.be/q85wyjQ7qWk>

En situation d'écoute dans le vent, l'appareil de classe II donne réellement un traitement différent. Avec les différents réglages, nous retrouvons sur le spectre ci - dessous, une atténuation du gain importante de 125 Hz à 1.5 kHz qui dépasse parfois 40 dB d'atténuation à 250 Hz. Néanmoins, que ce soit avec le réglage fabricant ou un réglage similaire, la parole était réduite et davantage impactée par l'atténuation du bruit lorsque le vent soufflait à très forte intensité en rafales.

Comme en témoigne l'enveloppe moins ample de l'AA de classe II, les souffles du vent et la parole sont atténués.

Atténuation très importante du gain dans les graves en rose sur le spectre et en rouge sur le spectrogramme avec l'AA de classe II.

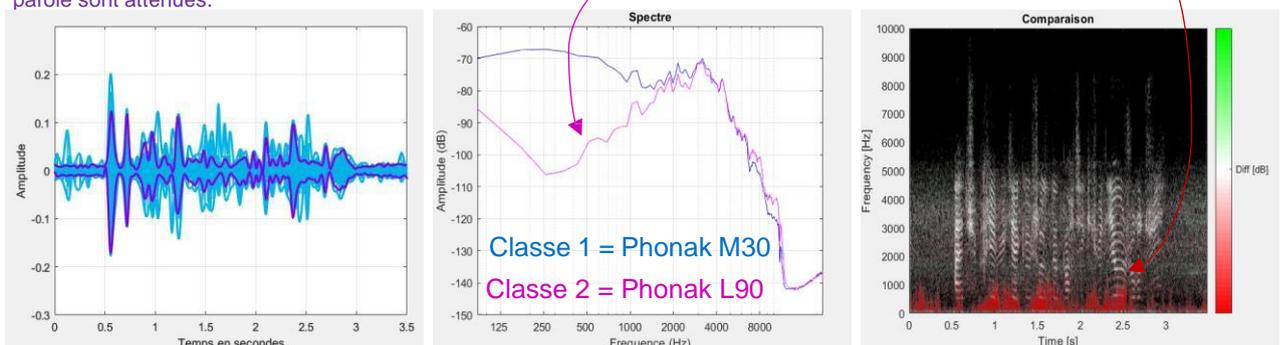


Figure 24 : Respectivement oscillogrammes, spectres et comparaison de spectrogrammes de la phrase « As-tu prévu quelque chose de particulier aujourd'hui ? » pour le M30 et le L90.

II.D- Situation d'écoute en voiture

II.D.1- Programme « Parole à 360° automatique » avec un réglage similaire entre les deux appareils.

Lien : <https://youtu.be/Xss0wfUckHg>



Bruit ambiant « seul » sans que l'interlocuteur ne parle.

Dans ce programme, l'algorithme ZoomControl en mode « automatique » et les réducteurs de bruits sont réglés au maximum (tableau 8 en annexe).

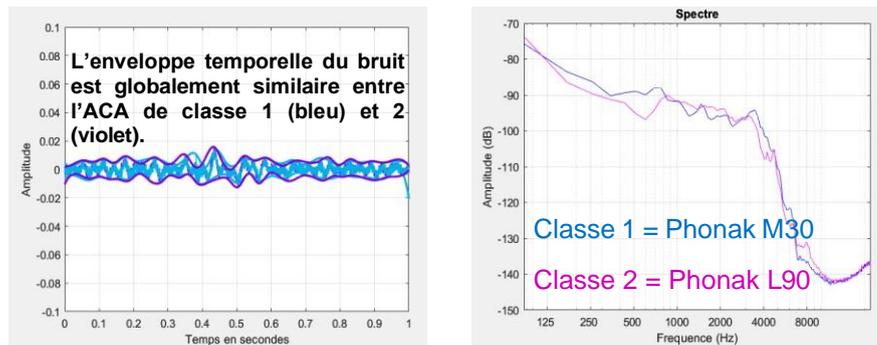


Figure 25 : A gauche oscillogrammes et à droite spectres du **bruit ambiant seul** sans intervention de l'interlocuteur, pour le M30 et le L90.

Lors de différents enregistrements en voiture, nous constatons, comme nous le voyons sur l'oscillogramme ci-dessus à gauche, que le bruit est très légèrement réduit sur le L90 par rapport au M30.

En revanche, comme nous le verrons ci-après, nous constatons que l'enveloppe de la parole est réellement augmentée avec l'appareil de classe II. L'algorithme « parole 360° » de Phonak envoie l'information pertinente sur l'oreille controlatérale. Nous constatons tout de même que la parole est augmentée sur l'oreille située du côté de l'interlocuteur et sur l'oreille controlatérale.

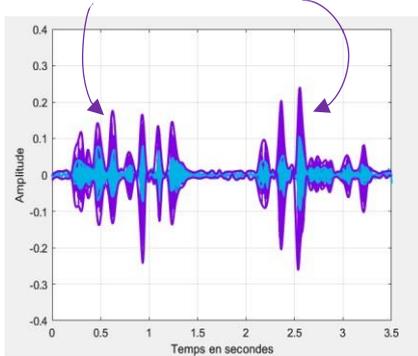
II.D.1- Programme « Parole à 360° gauche » avec un réglage similaire entre les deux appareils.

Lien : <https://youtu.be/LnmA0t4ILWY>

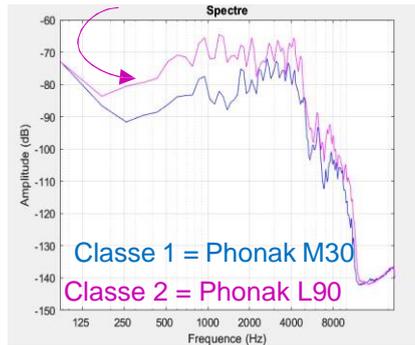


Dans ce programme, l'algorithme ZoomControl est en mode « gauche » c'est-à-dire que la parole reçue sur l'appareil gauche est transmise à l'appareil droit et les réducteurs de bruits sont réglés au maximum (tableau annexe 8). Du côté de l'oreille controlatérale, la parole est amplifiée avec l'appareil de classe II. Nous constatons la même chose mais dans une moindre ampleur sur l'oreille située du côté de l'interlocuteur. Que ce soit avec le réglage fabricant ou avec un gain similaire entre les deux appareils, **nous obtenons des résultats similaires.**

Emergence de l'enveloppe de la parole avec l'ACA de classe 2 (violet) comparativement au classe 1 (bleu).



Le gain du classe 2 (rose) est plus important (d'environ 10 dB) que celui du classe 1 sur presque toutes les fréquences



La parole est donc plus amplifiée avec l'ACA de classe 2 comme en témoignent les formants verts.

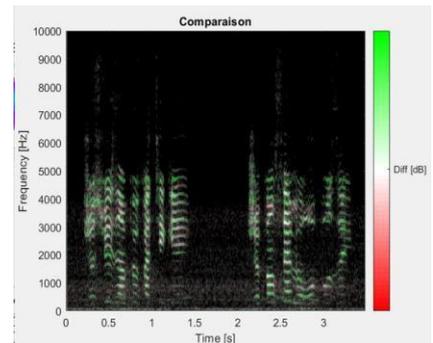


Figure 26 : respectivement oscillogrammes, spectres et spectrogramme de comparaison de la phrase : « je suis un peu fatiguée, je pensais me reposer ».

III- Appareil SIGNIA

III.A.1.- situation d'écoute au restaurant

III.A.1.a- Programme « automatique » avec le réglage préconisé par le fabricant.

Lien : <https://youtu.be/xjlaeqX2AcE>

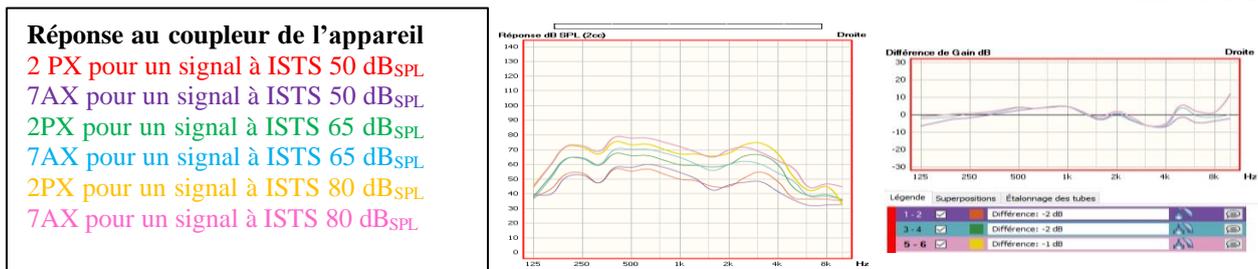


Figure 27 : A gauche, les courbes des réponses au coupleur des appareils 2PX et 7AX. A droite, les différences de gains au coupleur entre les deux appareils pour des signaux ISTS à 50dB_{SPL}, 65dB_{SPL}, 80dB_{SPL}.

De manière globale, nous notons que la différence de réglage par défaut entre le 2PX et le 7AX **reste faible** : le réglage du 7 AX est globalement 2 dB SPL en dessous de celui du 2PX. En revanche, le gain du 7AX est supérieur à celui du 2PX sur la plage de fréquence 750-1300 Hz. Au-delà de 4 kHz, le gain du 7AX est supérieur à celui du 2PX, pour les niveaux d'entrées 65 et 80 dB SPL.

Que ce soit avec le programme « automatique », le programme « environnement bruyant » par défaut ou avec les algorithmes de réduction du bruit réglés au maximum, nous entendons clairement que le débruitage et l'émergence de la parole sont plus importants avec le 7AX qu'avec le 2PX. Ainsi, nous choisissons ici de décrire le programme « automatique » par défaut.

1. L'ensemble de l'enveloppe de la parole en présence de « brouhaha » est réduit avec l'ACA de classe 2

2. Néanmoins, la parole reste quand même plus claire avec l'ACA de classe 2, c'est majoritairement le bruit autour des formants qui est atténué (ponctuations rouges)

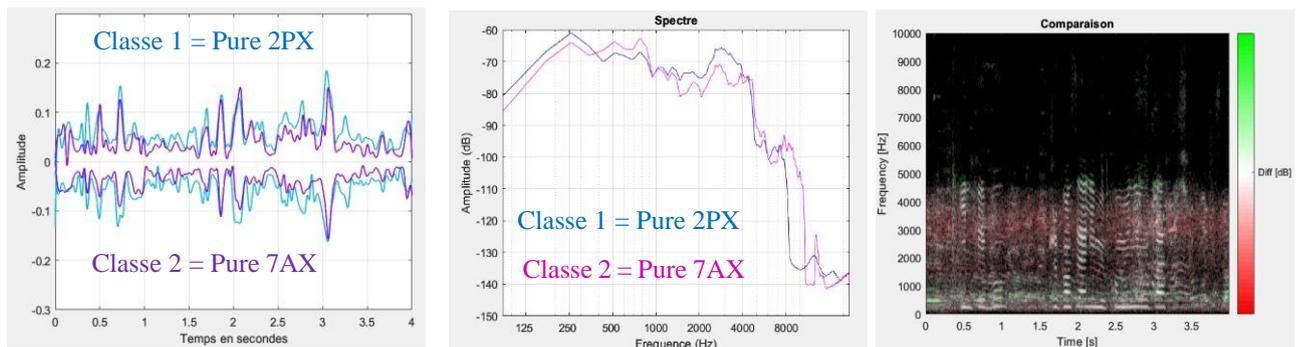


Figure 28 : Oscillogrammes, spectres et spectrogramme de comparaison de la phrase de la phrase « Il fait beau, je pensais aller me promener au parc », des appareils Signia 2PX et 7AX pour une situation de restaurant.

Nous constatons que les bruits **impulsionnels** sont davantage réduits par l'appareil de classe II.

L'amplitude du bruit impulsionnelle est très réduite avec l'ACA de classe 2.

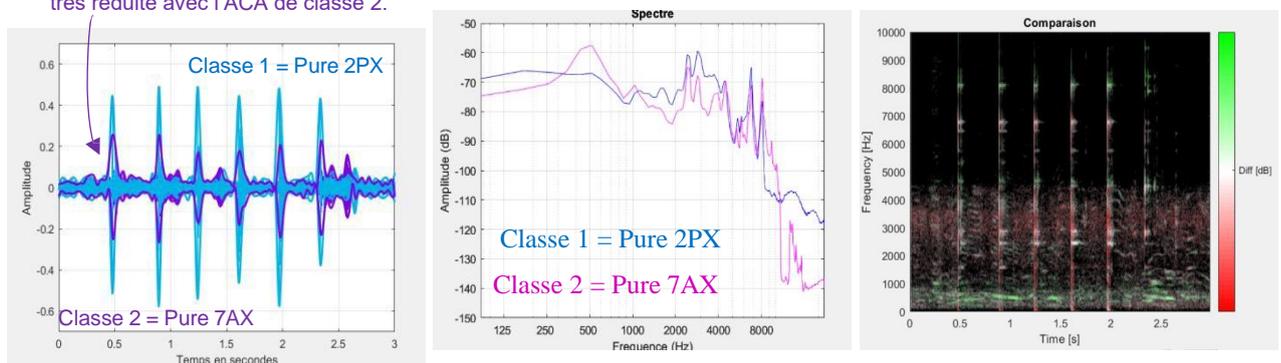


Figure 29 : A gauche, l'oscillogramme des deux appareils pour des bruits percussifs. Au milieu, le spectre moyen sur toute la période. A droite, la comparaison des spectrogrammes.

III.A.2- Programme « automatique » avec un réglage similaire entre les deux appareils

Lien : <https://youtu.be/vAzSStDNfqE>



La parole avec le classe II est davantage débruitée et l'intensité de la parole à l'écoute semble similaire. Avec l'appareil de classe I, nous entendons un bruit de souffle que nous n'entendons pas avec le classe II.

Ainsi, la parole apparaît comme étouffée, ce qui n'est pas le cas avec le classe II où elle semble mieux émerger du brouhaha et donc être plus nette, bien que comme nous le voyons **sur l'oscillogramme** ci-dessous, à gauche, la différence de fluctuations d'enveloppe entre les deux appareils n'est pas très importante.

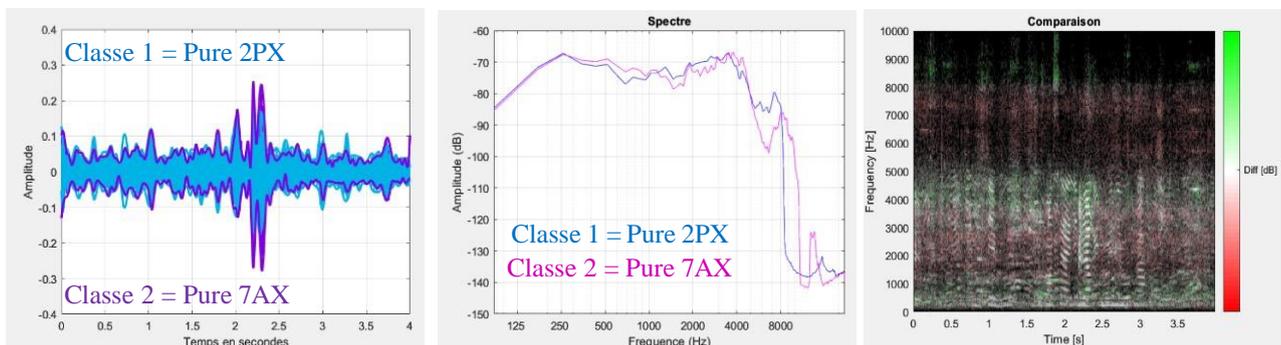


Figure 30 : Oscillogrammes, spectres et comparaison de spectrogrammes des appareils Signia 2PX et 7AX pour une situation de restaurant pour la phrase : “Il fait beau, je pensais aller me promener au parc”.

III-B- Situation d'écoute dans la rue

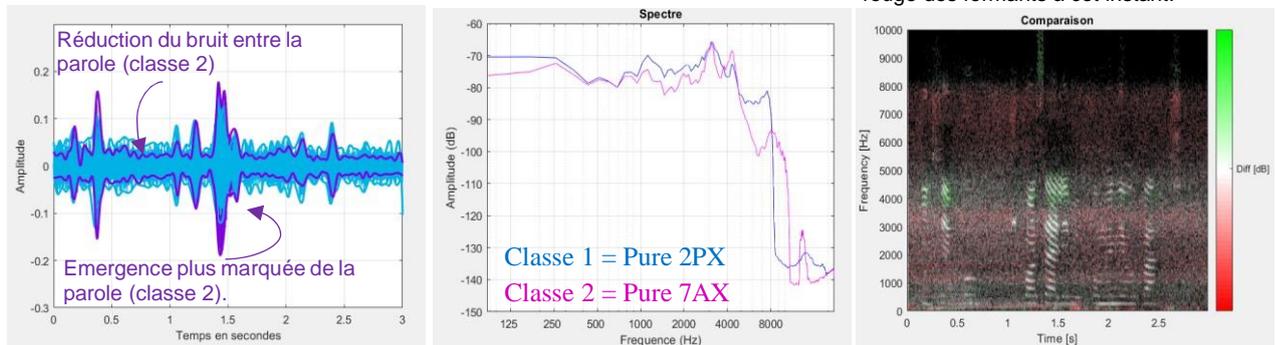
III.B.1- Programme « automatique » avec un réglage similaire entre les deux appareils

Lien : <https://youtu.be/lklqRSpOXHs>



Sur le spectre et à l'écoute, nous constatons une diminution notable du bruit de circulation avec l'appareil de Classe II, Signia 7 AX par rapport à celui de classe I, le 2PX (figure 31 en annexe 7).

Bien que dans l'ensemble, la parole soit conservée, les formants étant majoritairement « blancs » sur le spectrogramme (à droite), la parole est quand même parfois atténuée notamment autour de 2 secondes (figure 32).



Atténuation de la parole avec le classe II autour de 2 secondes illustrée par la couleur rouge des formants à cet instant.

Figure 32 : Oscillogrammes, spectres et comparaison de spectrogrammes des appareils Signia 2PX et 7AX pour une situation de restaurant pour la phrase : “Il fait beau, je pensais aller me promener au parc”.

III.C- situation d'écoute dans le vent

Peu importe le programme ou la méthodologie de réglage, nous avons obtenu des enregistrements similaires c'est-à-dire que nous avons une atténuation du vent plus marquée avec le classe II. **Cette atténuation est proportionnelle à l'intensité du souffle du vent. Si elle devient trop importante, nous avons aussi une atténuation de la parole.** Etant donné qu'il n'y a pas de différence entre le programme « plein air » par défaut et le programme « automatique », nous choisissons de présenter le mode « automatique » en réglage dit « similaire » et au réglage « fabricant ».

III.C.1- Programme « automatique » avec le réglage préconisé par le fabricant.

Lien : <https://youtu.be/pA99HCsoMVo>



En présence de vent, nous notons une atténuation du gain dans les fréquences **graves**. Nous constatons sur le spectrogramme, notamment qu'au-delà de 1 kHz, les contours des formants sont entourés de points rouges indiquant que c'est le bruit autour de la parole qui est atténué.

Nous observons également une atténuation marquée des impulsions du vent à partir de 2 secondes, qui est représentée par les stries rouges intenses sur le spectrogramme et en violet (classe II) sur l'oscillogramme (figure 33).

Atténuation de l'amplitude de l'enveloppe avec l'AA de classe 2 en présence de vent qui se traduit sur le spectre par une atténuation du gain général. La parole est impactée proportionnellement à la force du souffle du vent (formant rouge sur le spectrogramme).

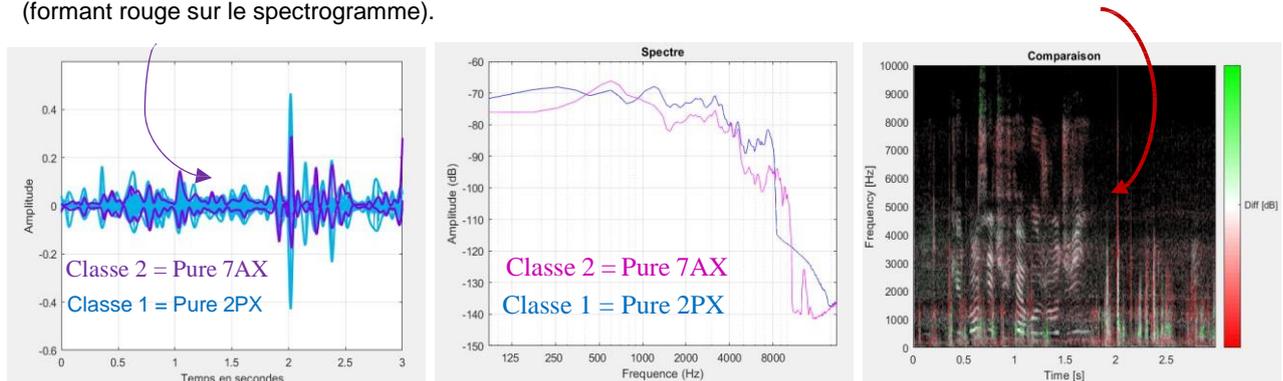


Figure 33 : Oscillogrammes, spectres et comparaison de spectrogrammes de la phrase « Que pensais-tu faire aujourd'hui ? » pour le 2PX et le 7AX.

III.D – situation d'écoute en voiture

II.D. 1- Programme « automatique » 7AX avec microphone adaptatif) avec un réglage similaire entre les appareils zoom 382 (tableau annexe 9).

Lien : <https://youtu.be/4UUj15pGXv0>



Réponse au coupleur de l'appareil
 7AX pour un signal à ISTS 50 dB_{SPL}
 7AX pour un signal à ISTS 65 dB_{SPL}
 7AX pour un signal à ISTS 80 dB_{SPL}

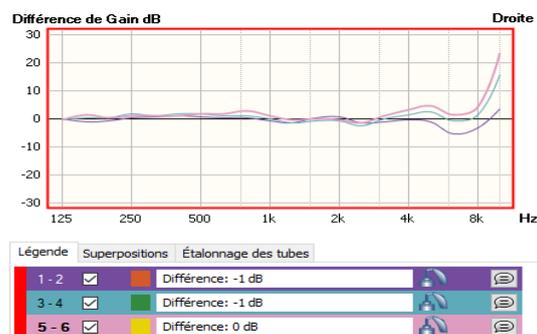


Figure 34 : Différence de gain entre l'appareil 2PX et 7AX lorsque nous souhaitons les régler de façon identique.

A l'écoute, nous constatons que le bruit est atténué en dehors des moments de parole. Nous constatons une atténuation d'en moyenne 6 dB entre 125 Hz et 2 kHz (figure 35). L'enveloppe de la parole a une amplitude plus importante avec l'appareil de classe II (figure 35).

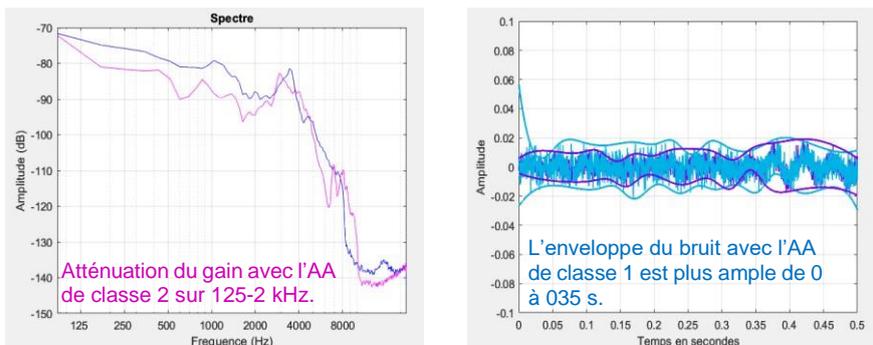


Figure 35 : A gauche, l'oscillogramme et à droite le spectre. Lorsqu'il n'y a que du bruit, celui-ci est davantage atténué avec l'appareil de classe II.

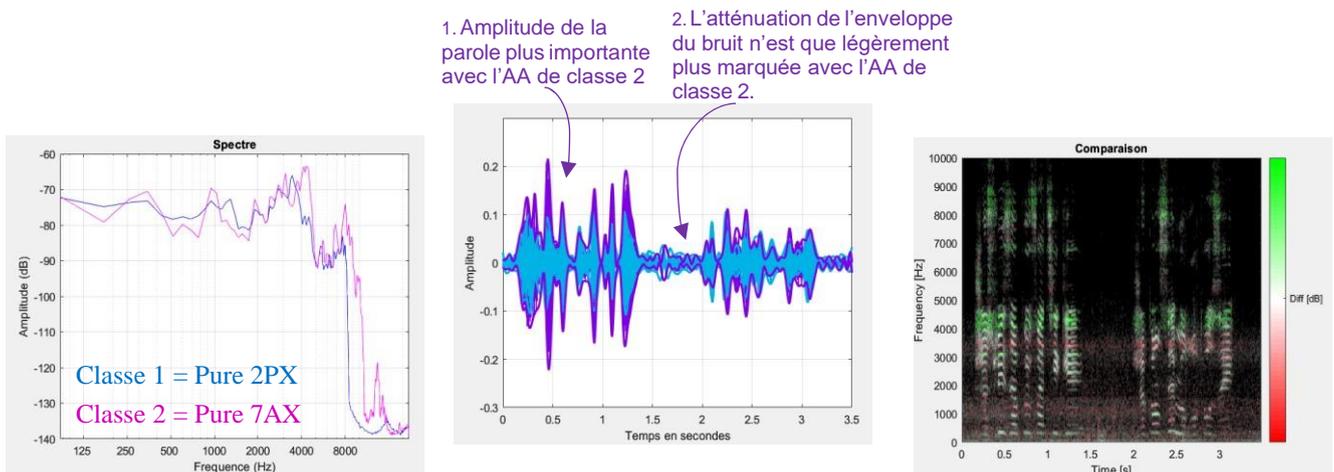


Figure 36 : Oscillogrammes, spectres et comparaison de spectrogrammes de la phrase "Je suis un peu fatiguée, je pensais me reposer" pour le Pure 2PX et le 7AX.

II.C.1.d-Programme « automatique » (7AX avec microphone sur Speech Spatial Focus) avec réglage similaire entre les appareils.

Lien : Lien : <https://youtu.be/5kiMBaAaCMM>



Le bruit est **atténué en dehors et entre les moments de parole**. Les pics de paroles sont d'amplitudes plus importantes avec l'appareil de classe II (figure 39 ci-dessous).

La parole vient de gauche. Lorsque le locuteur ne parle pas, nous voyons sur l'oscillogramme (figure 38 ci-dessous) que la piste gauche du classe I est plus amplifiée que celle du classe II mais cela peut s'expliquer par le montage qui impliquait que l'appareil classe I était celui le plus dirigé vers l'extérieur.

Bruit ambiant sans intervention de l'interlocuteur:

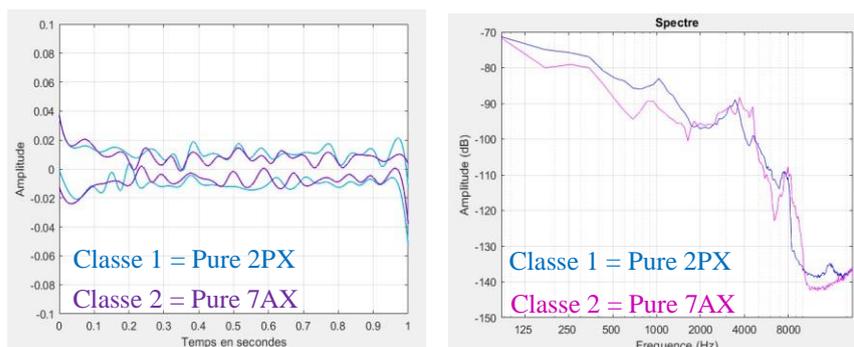


Figure 37 : A gauche, l'oscillogramme de signal en sortie de l'appareil Classe I et en violet celui de l'appareil classe II **du côté droit**. A droite, le spectre de l'appareil classe I en bleu et de l'appareil de classe II en violet **du côté droit**.

Nous avons affectivement une atténuation plus marquée des fréquences allant de 125 Hz à 1.5 kHz avec l'appareil de classe II (fig.37, spectre). Néanmoins sur l'oscillogramme (figure de gauche), nous n'observons pas de différence, probablement car le niveau de bruit compris entre -0.2 et 0.2 mV n'est pas assez important pour ce programme-ci.

Du côté gauche (fig.38), l'atténuation est plus importante avec l'appareil de classe II. Comme nous le voyons sur le spectre ci-dessous, nous avons une atténuation du gain, de l'ordre de 10 dB pour les fréquences comprises entre 250 Hz et 3 kHz.

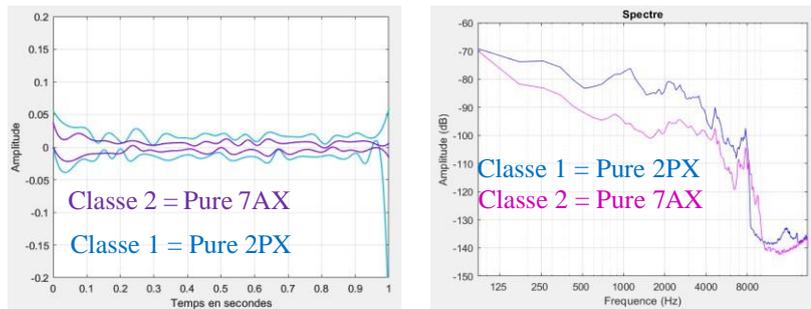


Figure 38 : A gauche, l'oscillogramme de signal en sortie de l'appareil Classe I et en violet celui de l'appareil classe II **du côté gauche**. A droite, le spectre de l'appareil classe I en bleu et de l'appareil de classe II en violet **du côté gauche**.

Emergence de la parole plus marquée de la parole avec l'AA de classe 2.

L'enveloppe du bruit est légèrement moins ample avec le classe II. La différence d'atténuation entre les 2 appareils est moins marquée contrairement à la situation de la figure 38 car nous sommes en présence de parole donc l'atténuation du bruit ne peut pas être aussi importante qu'en présence de bruit seul.

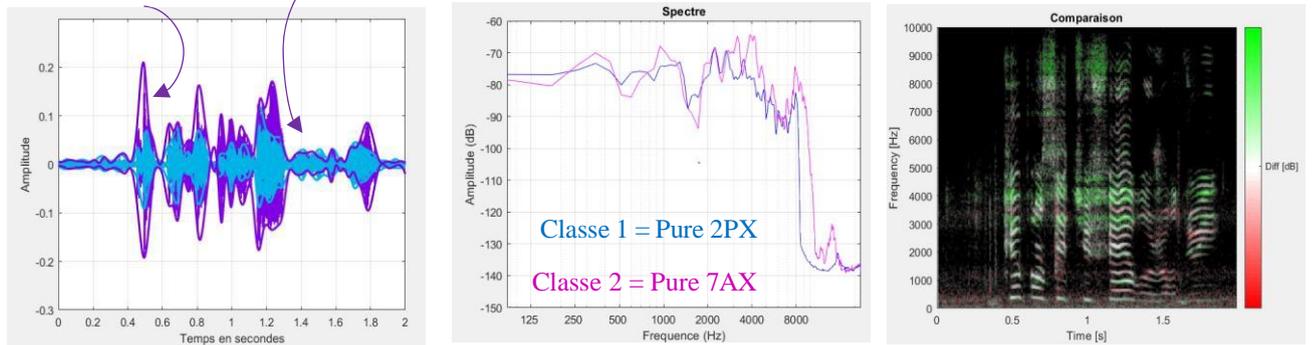


Figure 39 : Oscillogrammes, spectres et comparaison de spectrogrammes de la phrase « As-tu prévu quelque chose de particulier aujourd'hui ? » pour le 2PX et le 7AX.

De manière générale, le bruit est atténué. La parole est plus amplifiée avec l'appareil de classe II. Ceci est illustré par la coloration verte des formants entre 3 et 5 kHz notamment.

IV- Appareil STARKEY

IV.A.1- situation d'écoute au restaurant universitaire

IV.A.1- Programme « automatique » avec le réglage préconisé par le fabricant (13)

Lien : <https://youtu.be/EyNgdICJbJs>



Le gain entre les 2 appareils est très proche bien que nous soyons en réglage fabricant. Celui de l'appareil de classe II est légèrement en dessous de celui du classe I pour les sons d'intensités moyennes de 50 dB SPL et pour les 3 niveaux d'entrées autour de 2 kHz.

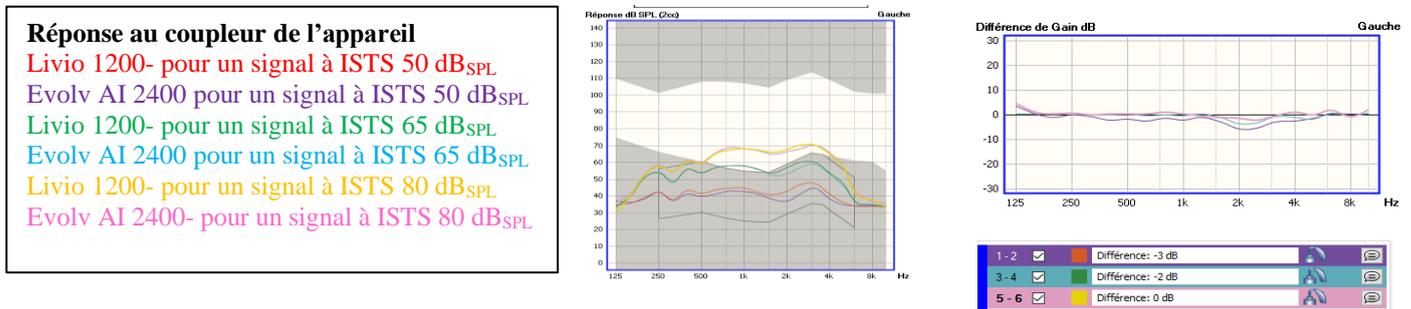


Figure 40 : A gauche, les courbes des réponses au coupleur des appareils Livio 1200 et Evolv AI 2400. A droite, les différences de gains au coupleur entre les deux appareils pour des signaux ISTS à 50dB_{SPL}, 65dB_{SPL}, 80dB_{SPL}.

A l'écoute, nous n'entendons pas de différence franche dans cette situation bien qu'elle soit visible sur l'oscillogramme ci-dessous (figure 41). En effet, nous voyons qu'avec l'appareil classe II, la parole est « nettoyée » du bruit ce qui lui permet de mieux émerger et d'être plus claire. Pour certaines phrases, cette différence est plus marquée que pour d'autres.

Brouhaha lorsque l'interlocuteur en face du mannequin ne parle pas

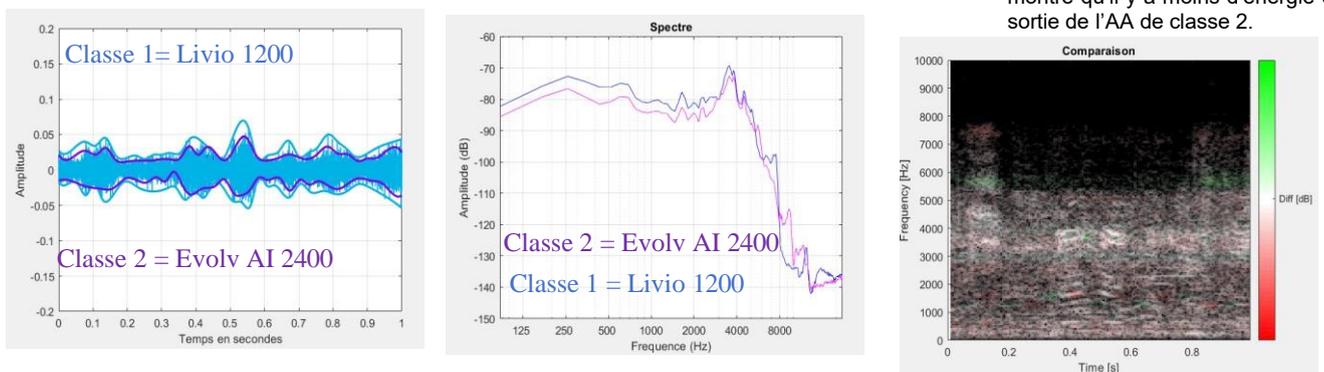


Figure 41 : A gauche, l'oscillogramme de signal en sortie de l'appareil Classe I et en violet celui de l'appareil classe II. Au milieu, le spectre de l'appareil classe I en bleu et de l'appareil de classe II en violet. A droite, le spectrogramme de comparaison.

Nous voyons sur l'oscillogramme en violet (figure de gauche) que l'amplitude du bruit est moins importante avec l'appareil de classe II. Au coupleur, nous voyons que le gain entre les 2 appareils est quasiment le même jusqu'à 1.5 kHz.

Sur le spectre (au milieu), nous comprenons que cette atténuation se traduit par une différence de gain pour les fréquences comprises entre **125 et 2000 Hz, le gain du classe II étant inférieur à celui du classe I à ces fréquences**. Pour le reste des fréquences, les courbes se superposent quasiment donc le gain appliqué pour ces fréquences est similaire.

Brouhaha lorsque l'interlocuteur en face du mannequin prend la parole

Entre 0.5 et 1 s, la parole est impactée par le débruitage

Le spectrogramme de comparaison montre qu'il y a moins d'énergie en sortie de l'AA de classe 2.

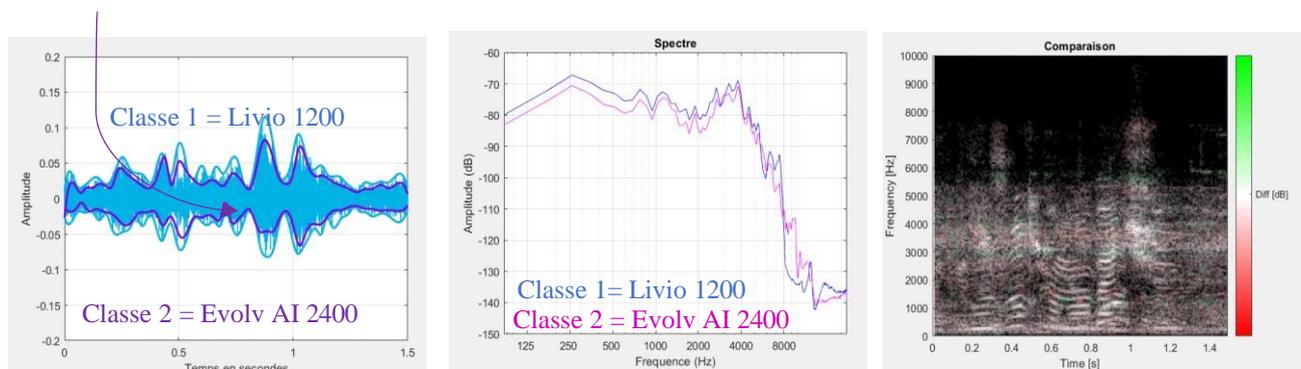


Figure 42 : A droite, l'oscillogramme en bleu l'appareil de Classe I et en violet l'appareil de classe II. Spectre pour les deux appareils. Spectrogramme de comparaison de la phrase : « **Bonjour, comment vas-tu ?** » (Oreille droite).

Sur l'oscillogramme (fig.42), nous voyons que le bruit est davantage atténué avec l'appareil de classe II et que **l'espace entre les syllabes est un peu plus accentué**. L'atténuation du bruit se traduit sur le spectre par un **gain moins important sur les fréquences graves et bas médiums** pour l'appareil de classe II (courbe rose). Cette atténuation est d'intensité moyenne et est représentée sur **le spectrogramme par la multitude de points rouge clair**. Cependant, cela **impacte également l'amplitude des pics de la parole**.

C'est ce que nous voyons autour de 0.5 et 1 seconde sur l'oscillogramme.

En effet, bien que la parole soit plus nettement définie, sur le spectrogramme (fig.42), **certains formants sont blancs indiquant que la parole entre les deux appareils est amplifiée de la même manière. Néanmoins, la majorité sont rouge clair indiquant que l'atténuation du bruit ambiant a été délétère à la parole dans une certaine mesure.**

Bruits impulsionnels ;

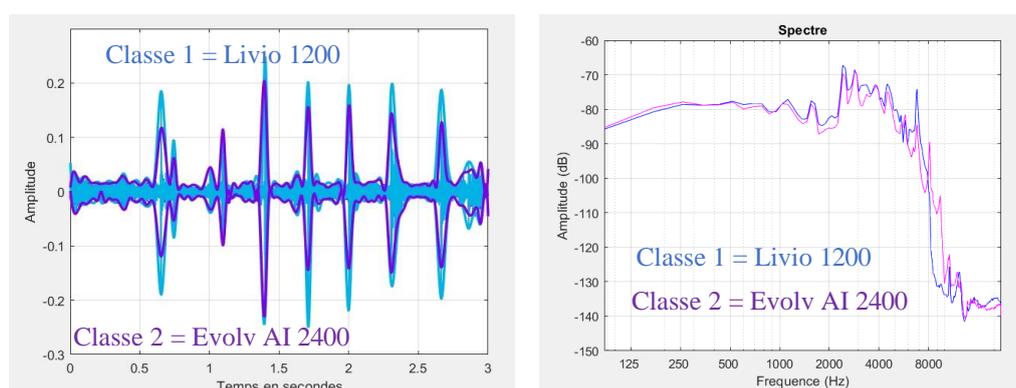


Figure 43 : A gauche, l'oscillogramme des deux appareils pour des bruits percussifs. A droite, le spectre moyen sur toute la période.

Nous voyons sur le spectre (fig.43) que le gain entre les deux appareils est globalement le même. Nous notons, sur l'oscillogramme, que nous avons effectivement **une atténuation plus marquée des bruits impulsionnels avec l'appareil de classe II.** L'atténuation semble être proportionnelle à l'intensité du bruit impulsionnel. En effet, elle semble être importante quand l'amplitude du bruit impulsionnel l'est et diminue quand celle-ci diminue.

En programme « restaurant » par défaut, au réglage fabricant, nous retrouvons des résultats similaires à ceux obtenus en programme « automatique » avec le gain prescrit par le fabricant.

IV.A.2- Programme « automatique » avec un gain similaire entre les deux appareils

Lien : <https://youtu.be/2lenTy9UPw8>



Brouhaha lorsque l'interlocuteur en face du mannequin ne prend pas parole

Amplitude du bruit est proche entre les deux appareils

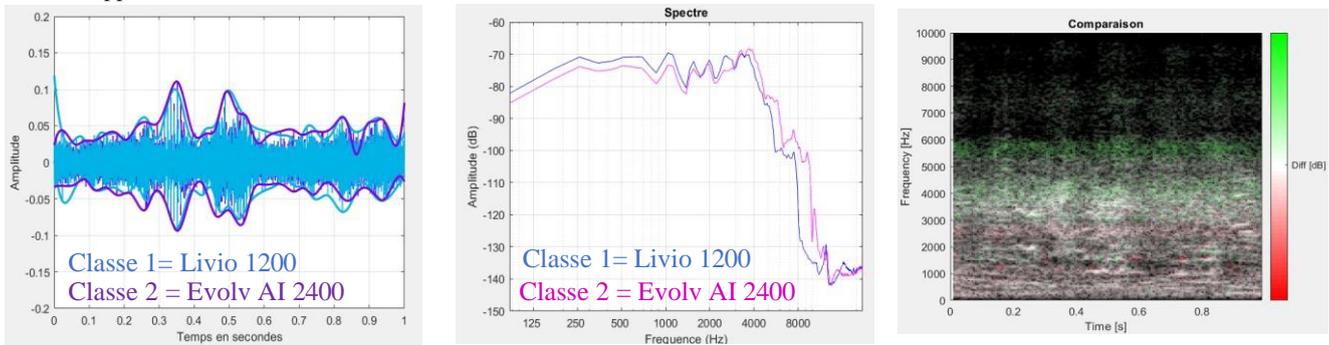


Figure 44 : A gauche, l'oscillogramme de signal en sortie de l'appareil Classe I et en violet celui de l'appareil classe II. Au milieu, le spectre de l'appareil classe I en bleu et de l'appareil de classe II en violet. A droite, le spectrogramme de comparaison montre qu'il y a un peu moins d'énergie en sortie de l'appareil de classe 2 (oreille droite).

A l'écoute, le débruitage du classe II est effectivement **légèrement plus marqué**. Il apparaît en rouge clair sur le **spectrogramme ci-dessus (fig.44)**. Cela permet à la parole d'être plus distincte mais la différence n'est pas très marquée. Comme expliqué dans la littérature, cela semble dû au fait que le bruit concurrent est la parole et donc le débruitage s'en retrouve moins efficace.

De nouveau, sur le spectre (figure du milieu), cela se traduit par une atténuation des fréquences comprises entre **125 Hz et 1.5 kHz** et dans une moindre mesure celles comprises au-delà (nous le déduisons par comparaison avec l'OG). Dans les fréquences très aiguës, le gain du classe II est supérieur comme nous l'avons vu au coupleur.

Ainsi, nous voyons que le traitement du signal par l'appareil de classe II aboutit à une atténuation du gain plus importante à l'origine d'un débruitage plus fin, en rouge sur le **spectrogramme (fig.44)**.

Nous distinguons aussi des formants caractéristiques de la parole car le bruit est aussi constitué des conversations autour.

Nous voyons sur l'**oscillogramme** (figure de gauche) qu'ils sont parfois amplifiés de la même manière par les deux appareils, par exemple entre 0.2 et 0.3 secondes, bien qu'ils ne constituent pas le signal d'intérêt.

Brouhaha lorsque l'interlocuteur en face du mannequin prend la parole.

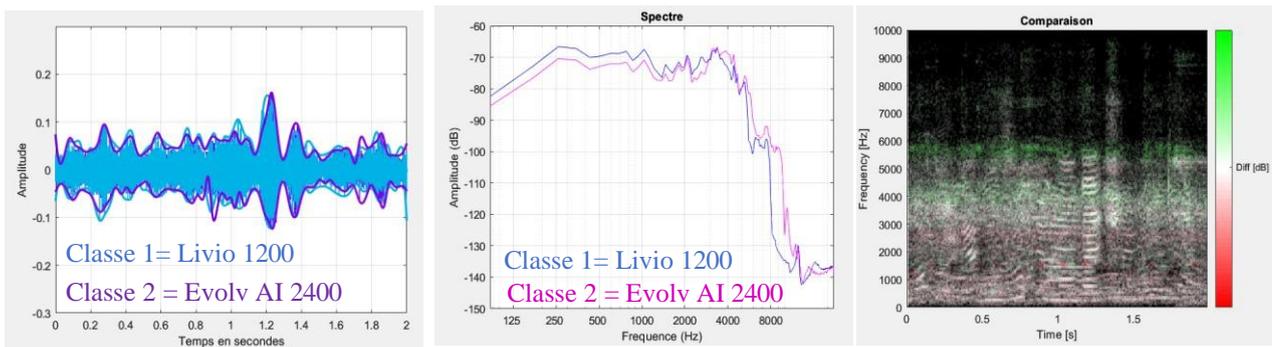


Figure 45 : A droite, l'oscillogramme en bleu l'appareil de Classe I et en violet l'appareil de classe II. Au milieu, le spectre pour des deux appareils. A droite, le spectrogramme de comparaison, chacun pour la phrase : « Bonjour, comment vas- tu ? » (Oreille droite).

Même si ce n'est pas flagrant, nous voyons sur l'oscillogramme à gauche (fig.45), que les variations d'amplitudes de la parole sont plus nettes avec l'appareil de classe II grâce à l'action légère du débruitage. C'est ce que nous voyons en rouge clair sur le spectrogramme. Cela permet à la parole d'être un peu plus claire à l'écoute. Les formants sont blancs indiquant que l'amplitude de la parole est identique entre les 2 appareils.

IV-B- Situation d'écoute dans la rue

IV.B.1- Programme « restaurant au maximum » avec un similaire entre les deux appareils.

Lien : https://youtu.be/c3hj_EllzPo



Comme nous le voyons sur le spectre (figure 46, au milieu), **l'atténuation du bruit se traduit par une diminution du gain dans les fréquences comprises entre 250 et 500 Hz. L'atténuation est beaucoup plus importante pour l'appareil de classe II : elle est de l'ordre de 8 dB à 125 Hz et cette différence s'amenuise jusqu'à 500 Hz.**

Emergence de la parole plus marquée avec l'AA de classe 2.

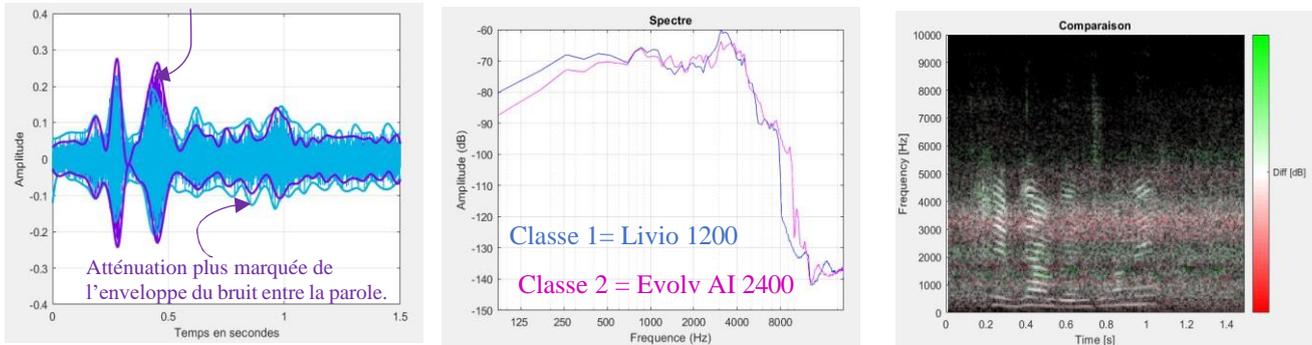


Figure 46 : A droite, l'oscillogramme en bleu l'appareil de Classe I et en violet l'appareil de classe II. Au milieu le spectre pour des deux appareils. A droite, le spectrogramme de comparaison, chacun pour la phrase : « Très bien, bonne journée » (oreille gauche).

IV.C- situation d'écoute dans le vent

IV.C.1.- Programme « automatique » avec un réglage similaire entre les deux appareils.

Lien : <https://youtu.be/A3pMASAgAYM>



Les bruits de vents sont présents dans les deux cas et ils ont une sonorité différente. **Le bruit et la parole sont plus importants avec l'appareil de classe II mais comparativement au classe I, l'émergence de la parole est plus importante que l'augmentation du bruit (figure 47 et à l'écoute).**

A l'écoute, nous avons ainsi l'impression que le bruit de vent est globalement similaire mais la parole est beaucoup plus audible avec l'appareil de classe II.

L'enveloppe du classe 2 est plus précise et légèrement plus ample. Nous voyons une réduction de l'impact du bruit à 0.8 s avec l'AA de classe 2.

Atténuation du gain dans les fréquences graves jusqu'à 500 Hz plus importante avec l'AA de classe 2 mais les fréquences de la parole au-delà sont plus amplifiées.

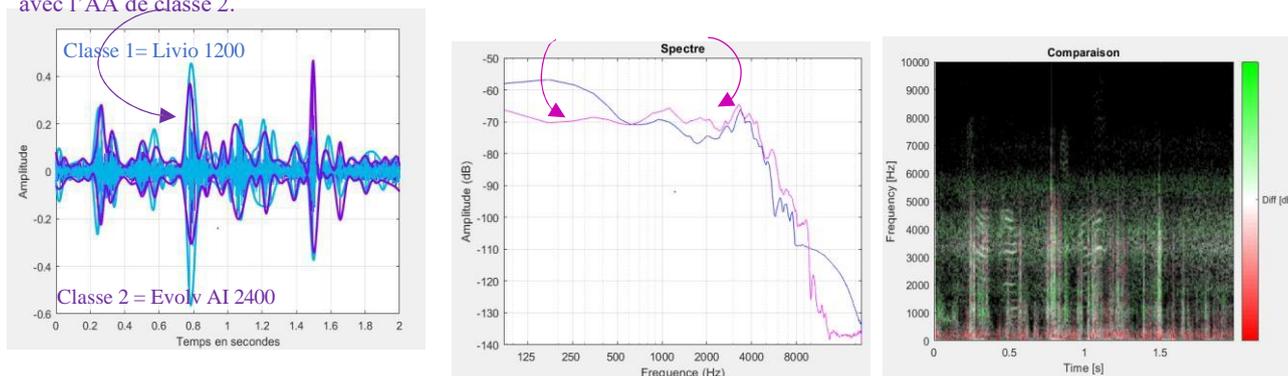


Figure 47 : A droite, l'oscillogramme en bleu l'appareil de Classe I et en violet l'appareil de classe II. Spectre pour les deux appareils. Spectrogramme de comparaison de la phrase : « Très bien, bonne journée ».

Nous retrouvons en rouge sur le spectrogramme (à droite) l'atténuation dans les fréquences graves.

IV.D- Situation d'écoute en voiture

IV.D.1- Programme « voiture au maximum » avec un réglage similaire entre les appareils.

Lien : <https://youtu.be/nSYc79UkTPk>



Dans cette situation d'enregistrement, nous obtenons des résultats similaires aux réglages par défaut mais l'effet est plus marqué.

Dans cet exemple, où l'intensité du bruit est plus importante (comparativement à d'autres enregistrements en voiture), nous voyons que la différence d'atténuation du bruit est très marquée. Cela met de nouveau en exergue que plus le bruit est initialement important, plus cela est susceptible d'activer les débuteurs et donc plus l'atténuation du bruit est importante.

Brouhaha lorsque l'interlocuteur en face du mannequin ne prend pas la parole

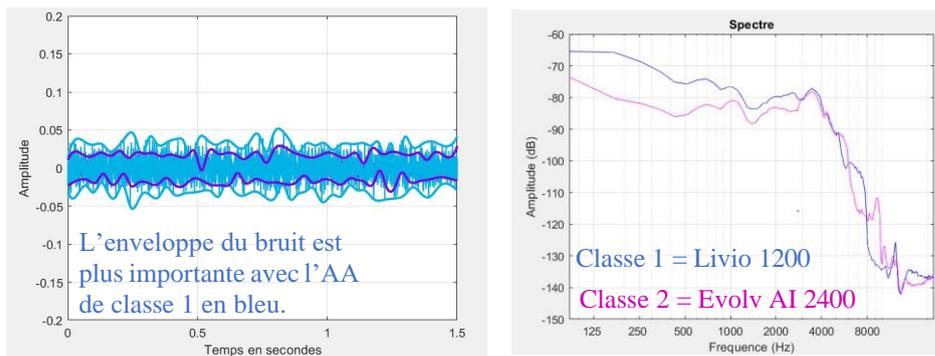


Figure 48 : A gauche, l'oscillogramme à travers les deux appareils. A droite, les spectres sans intervention de l'interlocuteur.

Nous notons ici que la présence d'un certain niveau de bruit (oscillogramme, fig.48) induit une différence d'atténuation pouvant **aller jusqu'à 15 dB pour les fréquences comprises entre 125 et 500 Hz (spectre, fig.48)**. Dans une moindre mesure, nous avons aussi une atténuation, avec un delta compris entre 5 et 3 dB, pour les fréquences comprises entre 750 Hz et 2 kHz.

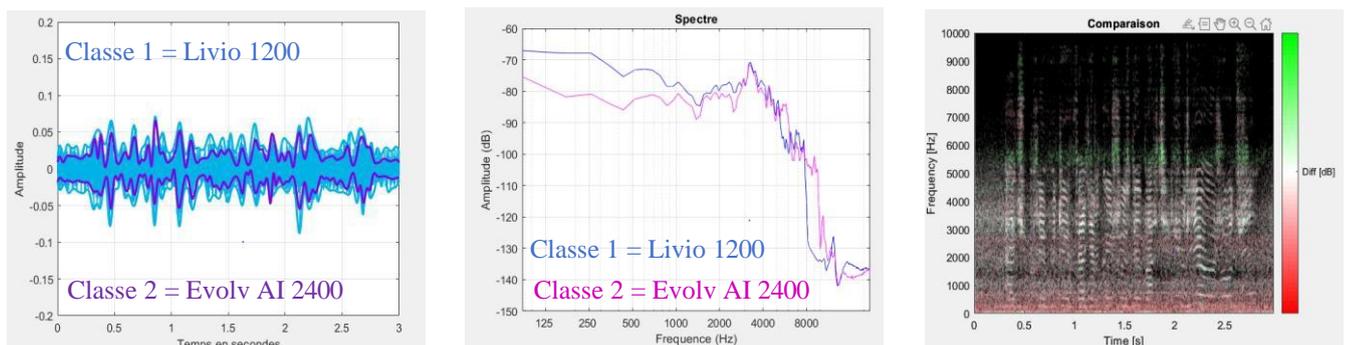


Figure 49 : A gauche, l'oscillogramme de la phrase « As-tu prévu de faire quelque chose de particulier aujourd'hui ? » à travers les deux appareils. Au milieu, les spectres. A droite, les comparaisons de spectrogramme.

Comme nous le voyons sur l'oscillogramme (fig.49), **l'atténuation du bruit autour de la parole est importante**. Cela permet aux variations d'amplitude de la parole d'être mieux définies.

Sur le spectrogramme (fig.49), nous observons cela via l'apparition d'une multitude de points rouges **sur l'ensemble des fréquences, de manière prédominante pour les fréquences graves comprises entre 125 Hz et 1 kHz.**

Nous voyons aussi que la majorité des formants sont blancs indiquant **qu'en grande partie, la parole n'est pas impactée par l'atténuation du bruit ambiant.**

III. DISCUSSION :

Nous avons voulu enregistrer en conditions réelles d'utilisation afin de se confronter autant que possible à la réalité du patient bien que cela implique, de fait, qu'il y ait des paramètres que l'on ne puisse pas contrôler totalement. En effet, il est à noter que pour enregistrer nous avons juxtaposé nos appareils (cf matériels et méthodes) et que nous avons conscience que le tube reliant l'écouteur au micro-cravate, bien qu'il soit court (1.5 cm) ait pu introduire une coloration spectrale (C.Micheyl).

Nous constatons qu'il existe une **amélioration** avec les appareils de classe II même si, en fonction des marques et des situations, elle n'est **parfois très faible voire quasiment inaudible**. En effet, nos propos **s'appliquent aux situations que nous avons testées compte tenu des réglages que nous avons utilisés et des niveaux de RSB avec lesquels nous avons travaillé.**

L'ensemble des résultats nous montrent aisément que les différences qui étaient ou non entendues étaient fonction du niveau de bruit ambiant. Le phénomène que nous avons majoritairement observé est que l'atténuation du bruit est d'autant plus importante que le niveau de bruit l'est. Cela nous paraît logique étant donné que nous savons qu'en fonction des marques, les réducteurs de bruits s'activent lorsque nous dépassons un niveau seuil de bruit.

Cela a aussi été mis en évidence dans certains mémoires (C. Varre^l) qui montrait que le niveau des RSB était dépendant du niveau de bruit. L'amélioration du RSB était davantage marquée pour des **RSB négatif** qui sont facilement imitables avec des HP. Or, comme vu dans l'étude de Wu et Al. (2018), nous ne sommes que très rarement confrontés à des RSB négatif dans la vie quotidienne. Ainsi, cela pourrait en partie expliquer pourquoi dans certaines situations, nous n'entendions pas de différence de traitement entre les appareils de classe I et II. Ainsi, pour certains enregistrements, nous avons constaté que le niveau de bruit n'était parfois pas suffisant pour activer les algorithmes de réduction du bruit.

Un autre paramètre à prendre en compte ici est le fait que bien que notre dispositif nous ait permis d'enregistrer **simultanément** la sortie de chacun de nos appareils, pour une même situation d'écoute, d'un programme à l'autre, le niveau de bruit n'est pas exactement le même. Néanmoins, le but ici était de comparer les deux appareils, sur un même programme et non pas les programmes entre eux.

Etant donnée que nous avons effectué des enregistrements dans plusieurs situations, nous avons été confrontés à différents types de bruit, certains se rapprochant plus d'un bruit stationnaire comme celui de la voiture alors que d'autre se rapprochaient plus d'un bruit fluctuant comme le « brouhaha » du restaurant universitaire.

Comme nous nous y attendions, quel que soit les fabricants, la situation d'écoute pour laquelle la différence entre les deux appareils était la plus difficilement perceptible, est celle au restaurant universitaire. En effet, dans ce type d'environnement, le signal concurrent au signal d'intérêt (le locuteur de face) est la parole.

Or, comme nous l'avons vu dans la partie théorique, lorsque le signal concurrent est la parole, les algorithmes de traitement du signal ne sont pas capables d'éliminer sélectivement ce « bruit de parole » car il le détecte justement comme ayant les caractéristiques physiques d'un signal de parole. Dans ce contexte, c'est la directivité des microphones qui permet d'induire une différence en se focalisant sur le signal provenant de face. Dans d'autres situations, notamment en voiture ou dans le vent, le bruit est plus sélectivement atténué.

Cela va dans le sens d'un mémoire précédemment réalisé (Sarah Charibi), qui montrait, pour des appareils de classe II, que, quel que soit le fabricant, les appareils parvenaient davantage à différencier la parole en présence d'un bruit stationnaire plutôt qu'en présence d'un bruit fluctuant.

Dans l'analyse de nos résultats certains paramètres sont à prendre en compte. Premièrement, il est à noter que le signal en sortie des appareils est recueilli par des micros-cravates. Nous analysons donc ici le signal que les micros-cravates ont captés et qui a été enregistré par l'enregistreur portatif ZOOM H6.

Deuxièmement, la situation d'enregistrement en voiture correspond à la seule situation pour laquelle le locuteur n'est pas face au mannequin mais à sa gauche. Ainsi, le montage d'enregistrement impliquait que l'un des appareils (ici l'appareil de classe I), même si ce n'est que très peu, soit plus proche du locuteur.

Enfin, il est aussi à noter que, du fait que les canaux de réglages soient intrinsèquement liés entre eux et que les appareils de classe II en possèdent davantage, pour certaines marques il était parfois difficile de régler les appareils exactement de la même manière.

Concernant la marque Starkey, nous avons notifié différents éléments. Tout d'abord, nous avons particulièrement remarqué, que l'atténuation du bruit, notamment avec l'appareil de classe II, était d'autant plus flagrante que le niveau de bruit l'était et que cela était davantage vrai pour les bruits de voiture et de vent (en comparaison du brouhaha au restaurant et de ce de la rue).

Nous avons aussi remarqué qu'en présence de parole et de bruit, les fréquences médiums étaient moins atténuées par opposition à la présence de bruit seule. Cela semble cohérent étant donné que nous savons, grâce à la fonction d'importance fréquentielle, que l'information de parole est principalement véhiculée par les fréquences comprises entre 1 et 4 kHz. Enfin, nous avons notifié que l'atténuation des bruits de rue était plus visible sur l'oscillogramme que celle du brouhaha du restaurant universitaire. Les bruits de vents sont notablement atténués mais lorsqu'ils deviennent trop importants, l'intelligibilité de la parole est altérée.

Concernant la marque Phonak, nous avons pu remarquer que l'algorithme permettant d'éliminer le souffle du vent (WindBloc) est particulièrement efficace. En effet, il permet une élimination notable du bruit de vent, avec un effet moindre sur la parole. En situation d'écoute en voiture, l'algorithme « Zoomcontrol » du programme « parole à 360° » permet aussi efficacement de transférer le meilleur RSB sur l'oreille controlatérale.

C'est aussi ce qui a été retrouvé dans le mémoire de Yohan Villalon, pour lequel des mesures ont mis en évidence qu'à partir de 90° (angle d'incidence de la parole), le programme « parole à 360° » est le plus performant, car il permet d'obtenir un gain notable sur l'oreille controlatérale.

La marque Oticon a une philosophie différente des autres fabricants, elle met en premier plan l'importance des processus auditifs centraux. Nous avons obtenu des résultats similaires aux autres marques, notamment quant au fait que nous obtenions des résultats dépendants du niveau de bruit et du type de bruit quelle que soit la situation d'écoute (les observations vont dans le même sens que celles décrites pour les marques Phonak et Starkey).

Pour la marque Phonak et Oticon, nous avons remarqué que le réglage du classe II était plus fort que celui du classe I. A l'écoute, nous nous sommes aperçus qu'in fine, malgré l'augmentation globale du gain, l'émergence de la parole était plus notable que celle du bruit. Ainsi, il semblerait que cela puisse permettre de réduire le bruit (via l'atténuation des fréquences graves) tout en prescrivant un gain significatif sur les fréquences de la parole. Ainsi, on s'attend à ce que cela maximise l'intelligibilité de la parole et que le réglage soit mieux supporté par le patient.

Enfin, concernant la marque Signia, l'atténuation du bruit est importante pour toutes les situations, notamment en voiture et dans le vent. Cela nous montre donc que l'apport des algorithmes supplémentaires, notamment de directivité, apporte une plus-value.

Pour l'ensemble des fabricants, de manière générale, plus le bruit était important, plus l'atténuation l'était aussi et elle se traduisait par une atténuation des fréquences graves et bas médiums. Néanmoins, si le bruit est trop atténué, la parole s'en retrouve quand même altérée.

Le bruit de voiture et de vent sont sélectivement mieux atténués que les bruits de rue et surtout que le « brouhaha » du restaurant, car ce sont des signaux qui varient davantage au cours du temps. La situation la plus complexe est celle au restaurant car le brouhaha correspond en plus du bruit ambiant à un signal de parole donc le traitement de l'appareil le considère comme tel. Ainsi, l'atténuation du bruit est moins marquée dans cette situation-ci, peu importe les fabricants.

IV. CONCLUSION

En conclusion, il existe une différence de traitement de signal entre les appareils de classe I et II, mais celle-ci est conditionnée par un ensemble de facteurs. En effet, en fonction du type de bruit et du niveau de bruit, le traitement ne sera pas le même. De manière générale, les deux appareils atténuent le bruit ambiant mais l'appareil de classe II est capable d'atténuer davantage le bruit et surtout d'atténuer différents types de bruits comme les bruits de vent ou encore les bruits impulsionnels. Cela offre un confort d'écoute supplémentaire.

De la même manière, concernant l'intelligibilité de la parole, lors de nos enregistrements, nous comprenions le message délivré avec les deux appareils, mais les algorithmes de directivité plus développés des appareils de classe II permettent tout de même à la parole d'être plus émergente dans certaines situations.

En effet, même si la différence n'est parfois pas très flagrante, on sait que d'après Moore (1996) une modification de 1dB de R.S.B peut entraîner une modification de l'intelligibilité de 14 à 19%.

Pour une personne malentendante, cela constitue donc une aide supplémentaire à l'intelligibilité.

Ainsi nous pouvons dire qu'il existe effectivement une différence de traitement mais qu'en fonction du mode de vie du patient et des environnements auxquels il est confronté, il n'existera pas toujours une différence perceptible.

V. BIBLIOGRAPHIE

Aide auditive dans le cadre du 100 % Santé (no date). Available at: <https://www.ameli.fr/professionnel-de-la-lpp/exercice-professionnel/facturation/aide-auditive-dans-le-cadre-du-100-sante> (Accessed: 1 November 2022).

Audition - Oreille - Cochlée (no date). Available at: <http://www.cochlea.eu> (Accessed: 24 January 2023).

Bisgaard, N., Vlaming, M. S. M. G., & Dahlquist, M. (2010). Standard Audiograms for the IEC 60118-15 Measurement Procedure: Trends in Amplification, 14, 113-120. <https://doi.org/10.1177/1084713810379609>

Christian Gelis, 1993. Bases Techniques Et Principes Dapplication De La Prothese Auditive, SAURAMPS MEDICAL. ed.

Chung, K. (2004). Challenges and Recent Developments in Hearing Aids : Part I. Speech Understanding in Noise, Microphone Technologies and Noise Reduction Algorithms. Trends in Amplification, 8(3), 83-124. <https://doi.org/10.1177/108471380400800302>

Chung, K. (2010). Reducing Noise Interference (world) [Review-article]. The ASHA Leader; American Speech-Language-Hearing Association. <https://doi.org/10.1044/leader.FTR1.15042010.10>

Couespel, J., (2006). ACA15 – Multimicrophones, 7-15. <http://audioprolyon.free.fr/Promo%202008->

2011/Annee%203/Audioproth%C3%A8se/Mr.%20COUESPEL%20-%20ACA15_Multimicrophones.pdf

Delerce, X., 2020. Comparaison des performances dans le bruit des aides auditives de classe I et de classe II, Le blog de l'audiologie prothétique. URL

Determining Threshold Level for Speech (1988) American Speech-Language-Hearing Association. American Speech-Language-Hearing Association. Available at: <https://www.asha.org/policy/gl1988-00008/> (Accessed: 24 January 2023).

Drullman, R. (1995) 'Temporal envelope and fine structure cues for speech intelligibility', The Journal of the Acoustical Society of America, 97(1), pp. 585–592. Available at: <https://doi.org/10.1121/1.413112>

Fillon, T., 2004. Traitement numérique du signal acoustique pour une aide aux malentendants (Spécialité : Signal et Images). Télécom ParisTech, PARIS. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00001201/document>

Fletcher, H. (1940). Auditory Patterns. Reviews of modern physics, 12, 47-65. George A. Miller, J. C. R. Licklider, 1950. The Intelligibility of Interrupted Speech. The Journal of the Acoustical Society of America 22.

FORMANT : Définition de *FORMANT* (no date). Available at: <https://www.cnrtl.fr/definition/formant> (Accessed: 21 February 2023).

Granger, Manon (2021). Etudes des algorithmes de réduction de bruit par une mesure au KEMAR du Rapport Signal sur Bruit en sortie d'appareils auditifs. [Université Claude Bernard Lyon 1]

Hartmann, W. (2013). Principles of musical acoustics. New York, Etats-Unis: Springer.

Killion, M.C., 1997. The SIN report: Circuits haven't solved the hearing-in-noise problem. The Hearing Journal 50, 28.
https://journals.lww.com/thehearingjournal/Citation/1997/10000/The_SIN_report_Circuits_haven_t_solved_the.2.aspx

Légifrance, 2018. Journal Officiel de la République Française, n°0265, URL <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000037615111>

Légifrance, 2019. Journal Officiel de la République Française, n°0207, URL <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000039050692&categorieLien=id>

Levitt, H., 2001. Noise reduction in hearing aids: A review. Journal of rehabilitation research and development, 38(1): 111-122.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.619.7527&rep=rep1&type=pdf>

Monique Boymans & Wouter A. Dreschler (2000) Field Trials Using a Digital Hearing Aid with Active Noise Reduction and Dual-Microphone Directionality: Estudios de

campo utilizando un audifono digital con reduccion activa del ruido y micrófono de direccionalidad dual, *Audiology*, 39:5, 260-268.

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/00206090009073090>

Next-level sound. Next-level everything. | Starkey (no date). Available at:

<https://home.starkeypro.com/st-en> (Accessed: 29 January 2023).

Phonak pour les audioprothésistes (no date) PhonakPro. Available at:

<https://www.phonakpro.com/be/fr/home.html> (Accessed: 24 January 2023).

Plapous, C. (2005). Traitements pour la réduction de bruit. Application à la communication parlée (Traitement du signal et de l'image). Université de Rennes 1.

https://www.researchgate.net/publication/278637464_Traitements_pour_la_reduction_de_bruit_Application_a_la_communication_parlee

Plomp, R., 1994. Noise, amplification, and compression: considerations of three main issues in hearing aid design. *Ear Hear* 15, 2–12.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8194676/>

Prévention, M. de la S. et de la and Prévention, M. de la S. et de la (2023) 100% Santé audiologie : un large choix d'aides auditives de qualités, performantes et ergonomiques, Ministère de la Santé et de la Prévention.

Available at: <https://solidarites-sante.gouv.fr/systeme-de-sante-et-medico-social/100pourcent-sante/100-sante-audiologie/article/100-sante-audiologie-un-large-choix-d-aides-auditives-de-qualites-performantes> (Accessed: 16 January 2023).

Prothèses auditives - Des différences importantes entre les modèles - YouTube (no date). Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=RZvStev3ixo> (Accessed: 16 January 2023).

'Rapport signal sur bruit' (2022) Wikipédia. Available at: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Rapport_signal_sur_bruit&oldid=195260325 (Accessed: 16 January 2023).

Rosen, S . (1992). Temporal information in speech: acoustic, auditory and linguistic aspects. *Phil Trans R Soc Lond* 336: 367–373. <https://www.semanticscholar.org/paper/Temporal-information-in-speech%3A-acoustic%2C-auditory-Rosen/def57f2481ff6f776444d27b9073a1e84b9a2ce8>

Sarampalis, Anastasios & Kalluri, Sridhar & Edwards, Brent & Hafter, Ervin. (2009). Objective Measures of Listening Effort: Effects of Background Noise and Noise Reduction. *Journal of speech, language, and hearing research : JSLHR*. 52. 1230-40. 10.1044/1092-4388(2009/08-0111).

https://www.researchgate.net/publication/24311461_Objective_Measures_of_Listening_Effort_Effects_of_Background_Noise_and_Noise_Reduction

Smeds, K., Wolters, F., & Rung, M. (2015). Estimation of Signal-to-Noise Ratios in Realistic Sound Scenarios. *Journal of the American Academy of Audiology*, 26(02),183-196. <https://doi.org/10.3766/jaaa.26.2.7>

Swaminathan, J., Mason, C.R., Streeter, T.M., Best, V., Roverud, E., Kidd, G., 2016. Role of Binaural Temporal Fine Structure and Envelope Cues in Cocktail-Party

Listening. J. Neurosci. 36, 8250–8257. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4421-15.2016>

Todd Ricketts & Paula Henry (2002) Evaluation of an adaptive, directional-microphone hearing aid: Evaluación de un auxiliar auditivo de micrófono direccional adaptable, International Journal of Audiology, 41:2, 100-112. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/14992020209090400>

Valente, M., Sweetow, R., Potts, L. G., & Bingeat, B. (1999). Digital Versus Analog Signal Processing : Effect of Directional Microphone. Journal of the American Academy of Audiology, 10(3), 18

Varrel Dit Morel, C, (2020). Analyse des algorithmes de réduction de bruit dernières générations de trois fabricants différents par la mesure du rapport signal sur bruit en sortie d'aides auditives à écouteurs déportés adaptées sur KEMAR. [Mémoire, Université Claude Bernard Lyon 1]

Villalon, Y. (2022). Etude et mesures objectives du Rapport Signal sur Bruit en sortie d'appareils suivant l'angle d'incidence de la parole. [Mémoire, Université Claude Bernard Lyon 1]

Wu, Y.-H., Stangl, E., Chipara, O., Hasan, S.S., Welhaven, A., Oleson, J., 2018. Characteristics of Real-World Signal-to-noise Ratios and Speech Listening Situations of Older Adults with Mild-to-Moderate Hearing Loss. Ear Hear 39, 293–304. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000486>

VI. ANNEXE :

Annexe 1 : Figure 5 : Illustration de l'adaptateur DAP DAD600



Annexe 2 : Résultats obtenus au coupleur représentant les courbes de réponse en dB SPL, avec l'utilisation d'un signal ISTS à différentes intensités d'une durée de 14 s. Cela a permis la vérification de l'équivalence des réglages entre les appareils de classe II (courbe violet, bleu et rose) et de classe I (orange, vert et jaune).



Annexe 3 : Etapes de classification des différents enregistrements.

Etape 1 : Marque

Etape 2 : Type de réglage

Etape 3 : Situation

- 1. OTICON
- 2. PHONAK
- 3. SIGNIA
- 4. STARKEY

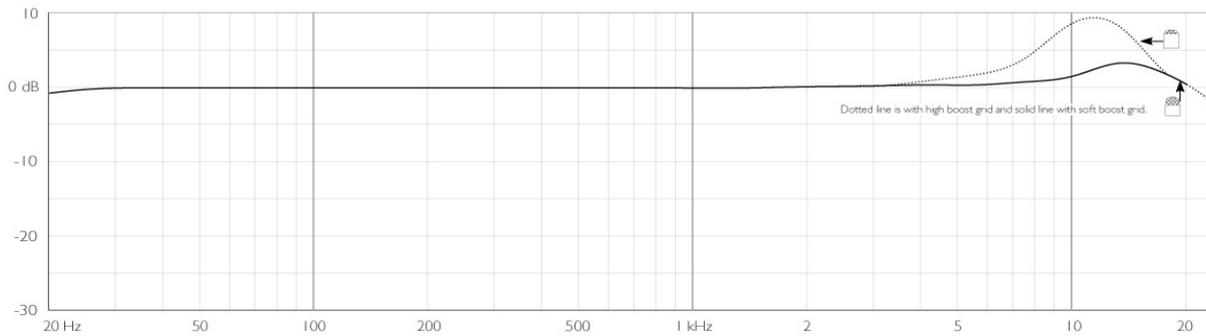
- FABRICANT
- SIMILAIRE

- RUE
- SELF
- VENT
- VOITURE

Etape 4 : différents programmes d'une situation donnée

- AUTO
- PDB DEFAUT
- PDB MAX
- PDBI DEFAUT
- PDBI MAX

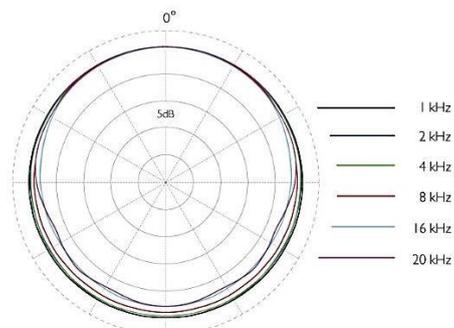
Annexe 4 : Information complémentaire sur le micro-cravate



REPONSE EN FREQUENCE CARACTERISTIQUE DU DPA CORE 4060

En fonction du type de grille du microphone, nous pouvons avoir un gain de ± 2 dB SPL :

- Pour une grille de suralimentation souple (courbe en pointillé) : sur 20 Hz-20 kHz, nous avons une suralimentation souple de 3 dB SPL à de 8 à 20 kHz.
- Pour une grille de suralimentation élevée (courbe en trait plein) : sur 20 Hz- 20 kHz, nous avons une suralimentation de 10 dB SPL à 12 kHz.



PATTERN POLAIRE CARACTERISTIQUE DU MICRO-CRAVATE DPA CORE 4060

Annexe 5 : Photo du montage d'enregistrement

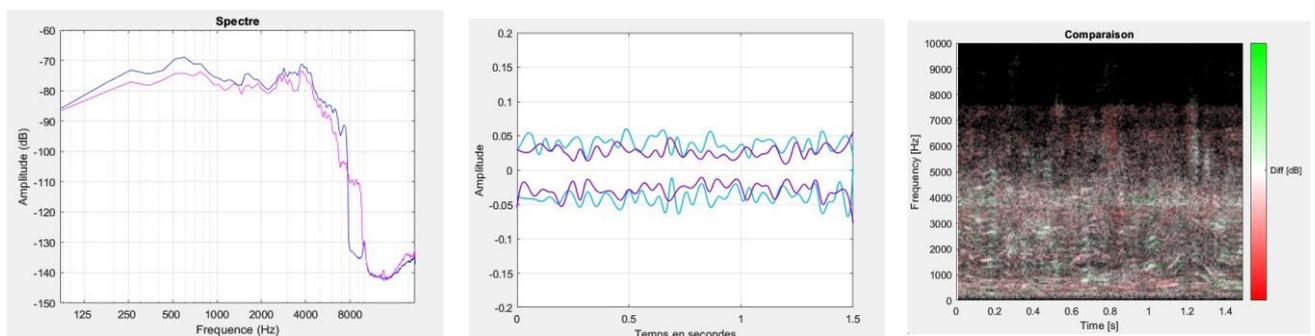


Annexe 6 : OTICON

Situation d'écoute au restaurant universitaire

I.A.2 Programme « parole dans le bruit neuronal » par défaut, avec un réglage similaire entre les deux appareils

[Brouhaha sans que l'interlocuteur en face ne prenne la parole.](#)



L'atténuation du bruit par l'appareil de classe 2 est plus importante. Sur le spectre nous voyons que nous avons l'atténuation du gain pour l'appareil de classe 2 sur l'ensemble des fréquences jusqu'à 8000 hertz.

Situation d'écoute dans le vent

I.C.1 – Programme « parole dans le bruit au maximum » avec le réglage préconisé par

le fabricant

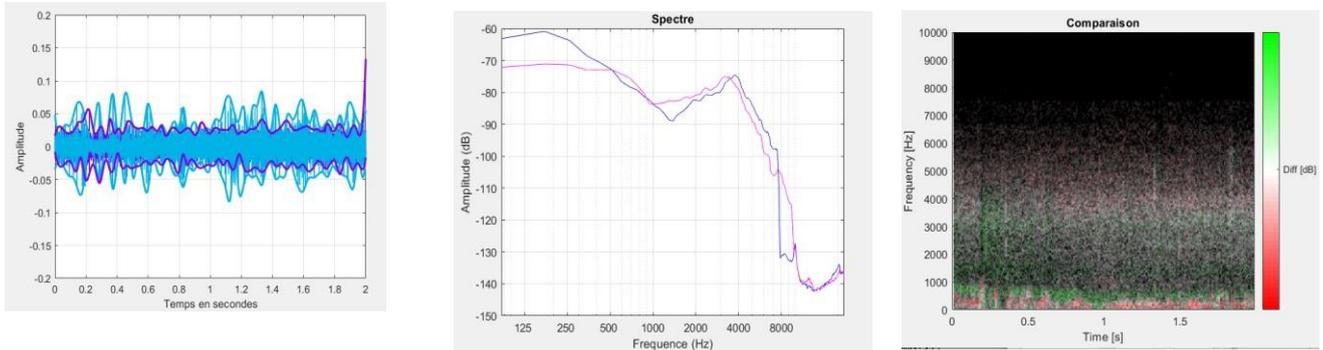


Figure 14 : Oscillogrammes, spectres et comparaison de spectrogrammes en présence de vent sans intervention de l'interlocuteur pour le Siya 1 et le More 1.

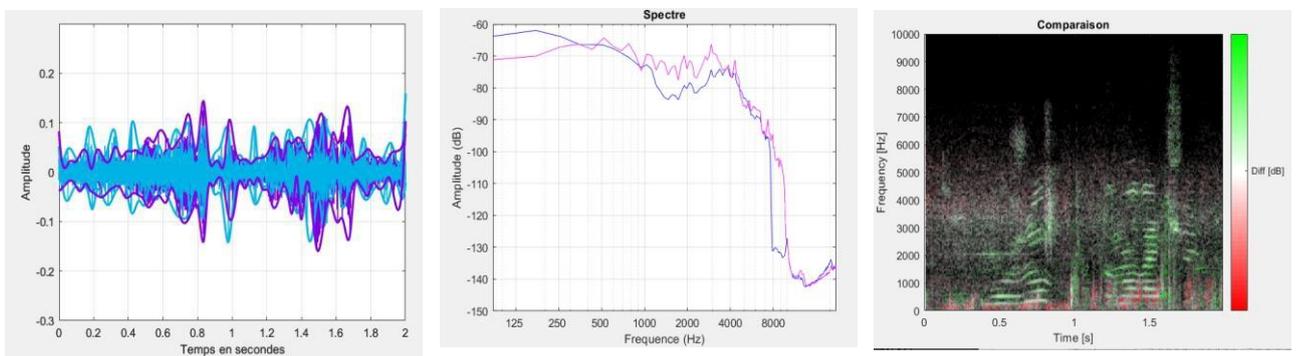


Figure 15 : A gauche, l'oscillogramme de la phrase « Bonjour, comment vas-tu ? » à travers les deux appareils. Au milieu, les spectres. A droite, les comparaisons de spectrogramme.

Annexe 7 : SIGINIA

III-B- Situation d'écoute dans la rue

III.B.1- Programme « automatique » avec un réglage similaire entre les deux appareils

(333)

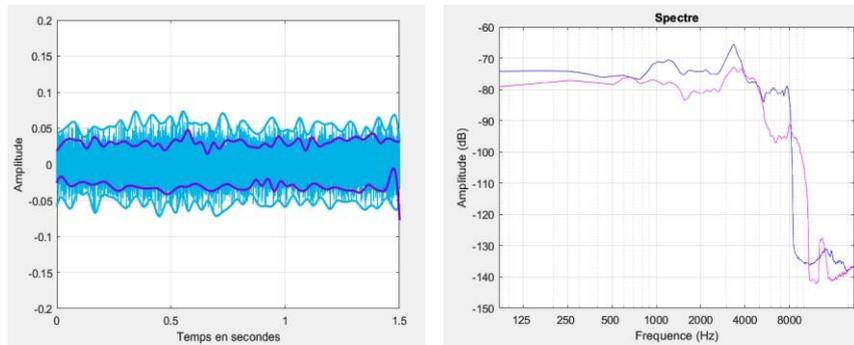


Figure 31 : Sur l'oscillogramme et le spectre, l'atténuation du bruit de la circulation est notable avec le Signia 7AX.

Annexe 8 : Tableau récapitulatif des combinaisons de test d'écoute de la marque Phonak

Tableau récapitulatif des combinaisons de test d'écoute au self et dans la rue				
Programmes du M30	Programmes du L90	Algorithme de gestion de l'environnement	L90	M30
Programme automatique	Programme automatique	Algorithmes de réduction du bruit	Renforcement de la parole : Modéré SoundRelax : faible Noise Bloc : faible	Noise bloc : faible
		Mode microphonique	Real Ear Sound	Omnidirectionnel
Parole dans le bruit par défaut	Parole dans le bruit intense par défaut	Algorithmes de réduction du bruit	Suppression de la dynamique du bruit : faible Les autres sont réglé comme par défaut	NoiseBloc : faible (8)
		Mode microphonique	StéreoZoom 2.0 sur 24 (moitié)	Ultrazoom (16)
Parole dans le bruit par défaut	Parole dans le bruit par défaut	Algorithmes de réduction du bruit	Suppression de la dynamique du bruit : faible	NoiseBloc : faible (8)
		Mode microphonique	Ultrazoom au maximum sur 20	Ultrazoom (16)
Parole dans le bruit algorithme au Maximum	Parole dans le bruit intense au Maximum	Algorithmes de réduction du bruit	Suppression de la dynamique du bruit : fort (20) Noise bloc : fort (20) Les autres algorithmes sont laissés comme par défaut	NoiseBloc : fort (20)

		Mode microphonique	StéréoZoom au maximum à 27	Ultrazoom (16)
Parole dans le bruit algorithme au Maximum	Parole dans le bruit au Maximum	Algorithmes de réduction du bruit	Suppression de la dynamique du bruit : fort (20) Noise bloc : fort (20) Les autres algorithmes sont laissés comme par défaut	NoiseBloc : fort (20)
		Mode Microphonique	Ultrazoom au maximum sur 20	Ultrazoom (16)

Récapitulatif des combinaisons de tes d'écoute dans le vent			
Programme	Algorithmes de GDE	L90	M30
Programme automatique	Algorithmes de réduction du bruit ou du bruit de vent	<ul style="list-style-type: none"> Noise bloc : faible (14) Windbloc : modérée faible 	Noise bloc : faible (8)
	Mode microphonique	Real Ear Sound	Omnidirectionnel
Parole dans le bruit par défaut	Algorithmes de réduction du bruit ou du bruit de vent	<ul style="list-style-type: none"> Suppression de la dynamique du bruit : faible (8) Noise bloc : faible (14) Windbloc : modérée faible 	NoiseBloc : faible (8)
	Mode microphonique	Ultrazoom (20 = max)	ultraZoom (16)
Parole dans le bruit dans le bruit maximum	Algorithmes de réduction du bruit ou du bruit de vent	<ul style="list-style-type: none"> Suppression de la dynamique du bruit : faible (8) Noise bloc : fort (20) Windbloc : modérée fort (20) 	NoiseBloc : fort (20)

	Mode Microphonique	Ultrazoom (20 = max)	Ultrazoom (16)
--	--------------------	----------------------	----------------

Récapitulatif des combinaisons de tests d'écoute en voiture				
Programmes du M30	Programmes du L90	Algorithme de GDE	L90	M30
Programme automatique	Programme automatique (Parole en voiture)	Algorithmes de réduction du bruit ou du bruit de vent	Noise bloc : faible (14)	Noise bloc : faible (8)
		Mode microphonique	Real Ear Sound	Omnidirectionnel
Parole dans le bruit par défaut	Parole à 360° Automatique algorithme de réduction du bruit par défaut	Algorithmes de réduction du bruit	Noisebloc : faible (8)	Noise bloc : faible (8)
		Mode microphonique	ZoomControl : direction par défaut : Automatique	ultraZoom (16)
Parole dans le bruit par défaut	Parole à 360° Gauche algorithme de réduction du bruit par défaut	Algorithmes de réduction du bruit	Noisebloc : faible (8)	Noise bloc : faible (8)
		Mode microphonique	ZoomControl : direction par défaut : gauche	ultraZoom (16)
Parole dans le bruit algorithme au Maximum	Parole à 360° Automatique algorithme de réduction du bruit au Maximum	Algorithmes de réduction du bruit	Noisebloc : fort (20)	Noisebloc : fort (20)

		Mode microphonique	ZoomControl : direction par défaut : Automatique	ultraZoom (20)
Parole dans le bruit algorithme au Maximum	Parole à 360° Gauche algorithme de réduction du bruit au Maximum	Algorithmes de réduction du bruit	Noisebloc : fort (20)	Noisebloc : fort (20)
		Mode Microphonique	ZoomControl : direction par défaut : gauche	UltraZoom (20)

Annexe 9 : Tableau récapitulatif des combinaisons de test d'écoute de la marque SIGNIA

Tableau récapitulatif des combinaisons de test d'écoute au self et dans la rue			
Programme	Algorithme de GDE	Pure 7AX	Pure 2PX
Programme automatique	Algorithmes de réduction du bruit	<ul style="list-style-type: none"> TPB sur Bande large et Médium (atténuation de 4 à 5 dB) SS : min (atténuation de 20 dB) eWS : medium 	TPB sur médium : réduction du bruit de -5 à -8 dB SoundSmoothing, eWindScreen sur ON par défaut
	Mode microphonique	Adaptation automatique entre TruEar, directivité adaptative, SuperFocus et SpeechFocus	S'adapte automatiquement entre omni et directionnel
Environnement bruyant par défaut	Algorithmes de réduction du bruit	<ul style="list-style-type: none"> TPB sur Bande large et Médium (atténuation de 4 à 5 dB) SS : medium (atténuation de 30 dB) eWS : medium	TPB sur médium : réduction du bruit de 5 à 8 dB

			SoundSmoothing, eWindScreen sur ON par défaut
	Mode microphonique	Super Focus	Directionnel vers l'avant
Environnement bruyant au maximum	Algorithmes de réduction du bruit	<ul style="list-style-type: none"> • TPB sur Bande large et maximum (atténuation de 5 à 8 dB) • SS : medium (atténuation de 30 dB) • eWS : medium 	TPB sur médium : réduction du bruit de 12 à 24 dB SoundSmoothing, eWindScreen sur ON par défaut
	Mode Microphonique	Super Focus	Directionnel vers l'avant

Récapitulatif des combinaisons de test d'écoute dans le vent			
Programme	Algorithme de GDE	Pure 7AX	Pure 2PX
Programme automatique ou universel	Algorithmes de réduction du bruit	<ul style="list-style-type: none"> • TPB sur Bande large et Médium (atténuation de 4 à 5 dB) • SS : min (atténuation de 20 dB) eWS : medium	On a la même chose que pour le réglage self et rue
	Mode microphonique	Adaptation automatique entre TruEar, directivité adaptative, SuperFocus et SpeechFocus	
Activité de plein par défaut	Algorithmes de réduction du bruit et du bruit de vent	<ul style="list-style-type: none"> • TPB sur Bande large et maximum (atténuation de 5 à 8 dB) • eWS : maximum (par défaut) 	

	Mode microphonique	Omnidirectionnel (unique choix)	
Activité de plein au maximum	Algorithmes de réduction du bruit	<ul style="list-style-type: none"> • TPB sur Bande large et maximum (atténuation de 5 à 8 dB) • eWS : maximum (par défaut) 	
	Mode Microphonique	Omnidirectionnel (unique choix)	

Récapitulatif des combinaisons de test d'écoute en voiture			
Programme	Algorithmes de GDE	Pure 7AX	Pure 2PX
Programme automatique ou universel	Algorithmes de réduction du bruit	Pareil que pour les autres situations	TPB sur médium : réduction du bruit de -5 à -8 dB
	Mode microphonique		SoundSmoothing, eWindScreen sur ON par défaut S'adapte automatiquement entre omni et directionnel
Programme automatique ou universel	Algorithmes de réduction du bruit	TDB : medium	TPB sur médium : réduction du bruit de -5 à -8 dB
	Mode microphonique	Spatial speechFocus	SoundSmoothing, eWindScreen sur ON par défaut S'adapte automatiquement entre omni et directionnel

Programme automatique ou universel	Algorithmes de réduction du bruit	TDB : maximum	TPB sur médium : réduction du bruit de -5 à -8 dB SoundSmoothing, eWindScreen sur ON par défaut
	Mode Microphonique	Spatial speechFocus	S'adapte automatiquement entre omni et directionnel

On utilise le programme universel et non promenade car dans universel, le microphone Spatial speech focus capte dans toutes les directions de l'espace alors que dans le programme promenade, il capte en face et sur les des é côtés, or en voiture, on teste aussi le son venant de l'arrière.

Annexe 10 : Tableau récapitulatif des combinaisons de test d'écoute de la marque STARKEY

STARKEY SELF ET RUE : Pour les deux situations, nous avons choisis le programme restaurant car même pour la situation « rue », c'est celui qui correspondait le plus à la situation d'écoute dans laquelle nous nous trouvions

Récapitulatif des combinaisons de test en situation d'écoute dans la rue et au self			
Programme	Algorithmes de GDE	EVOLV AI 2400 mRIC 312	LIVIO 1200 RIC 312
Programme automatique ou normale	Algorithmes de réduction du bruit	<ul style="list-style-type: none"> • Parole dans le bruit sur 3 : atténuation jusqu'à 12 dB • Transitoire, Vent, Mécanique : 3 	Parole dans le bruit : ON Transitoire, Vent, Mécanique : ON
	Mode microphonique	Adaptatif	Directionnalité adaptatif

Restaurant par défaut	Algorithmes de réduction du bruit	<ul style="list-style-type: none"> • Parole dans le bruit sur 3 : atténuation jusqu'à 12 dB • Transitoire, Vent, Mécanique : 3 	Parole dans le bruit : ON Transitoire, Vent, Mécanique : ON
	Mode microphonique	Adaptatif	Directionnalité adaptatif
Restaurant maximum	Algorithmes de réduction du bruit	<ul style="list-style-type: none"> • Parole dans le bruit sur 4 : atténuation jusqu'à 22 dB Transitoire, Vent, Mécanique : 3 	Parole dans le bruit : ON Transitoire, Vent, Mécanique : ON
	Mode Microphonique	Directionnel	Directionnel

Récapitulatif des combinaisons de test d'écoute dans le vent			
Programmes	Algorithmes de GDE	EVOLV AI 2400	LIVIO EDGE 1200
Programme automatique	Algorithmes de réduction du bruit	Parole dans le bruit : ON (atténuation jusqu'à 12 dB) VENT : ON (atténuation jusqu'à 24 dB)	Parole dans le bruit : ON (atténuation jusqu'à 6 dB) VENT : ON (atténuation jusqu'à 7 dB)
	Mode microphonique	Adaptatif	Adaptatif

Pleine Air par défaut	Algorithmes de réduction du bruit	Parole dans le bruit : 3 (atténuation jusqu'à 12 dB) VENT : 4 (atténuation jusqu'à 32 dB)	Parole dans le bruit : ON (atténuation jusqu'à 6 dB) VENT : ON (atténuation jusqu'à 7 dB)
	Mode microphonique	Omnidirectionnel	Omnidirectionnel
Activité de plein au maximum	Algorithmes de réduction du bruit	Parole dans le bruit : 3 (atténuation jusqu'à 6 dB) VENT : 4 (atténuation jusqu'à 32dB)	Parole dans le bruit : ON (atténuation jusqu'à 6 dB) VENT : ON (atténuation jusqu'à 7 dB)
	Mode Microphonique	Directionnel	Directionnel

Récapitulatif des combinaisons de tests d'écoute en voiture

Programme	Algorithmes de GDE	EVOLV AI 2400	LIVIO EDGE 1200
-----------	--------------------	---------------	-----------------

Programme automatique	Algorithmes de réduction du bruit	Parole dans le bruit sur 3 : atténuation jusqu'à 12 dB.	Parole dans le bruit sur ON
	Mode microphonique	Adaptatif	Adaptatif
Voiture par défaut	Algorithmes de réduction du bruit	Parole dans le bruit sur 4 : atténuation jusqu'à 22 dB.	Parole dans le bruit sur ON
	Mode microphonique	Adaptatif	Adaptatif
Voiture maximum	Algorithmes de réduction du bruit	Parole dans le bruit sur 4 : atténuation jusqu'à 22 dB.	Parole dans le bruit sur ON
	Mode Microphonique	Adaptatif	Adaptatif

Annexe 11 : *Tableau récapitulatif des combinaisons de test d'écoute de la marque OTICON*

La présentation des algorithmes de gestion de l'environnement pour le More 1 diffère de celle que nous avons l'habitude de rencontrer. Ainsi, pour les programmes manuels, à l'aide d'un technicien oticon, nous avons créé un programme manuel spécifique à la situation parole dans le bruit, que le brut soit celui du self, de la rue, du vent ou bien de la voiture

Récapitulatif des combinaisons de test dans diverses situations d'écoute

Programmes du More 1	Programmes du Siya 1	Algorithme de gestion de l'environnement	More 1	Siya 1
Programme automatique P1	Programme automatique P1	Algorithmes de réduction du bruit ou du bruit de vent	Quelles situations sont faciles ou difficile pour votre client : <u>modéré</u> Virtual Outer Ear : <u>équilibré</u> Suppression neuronale du bruit-facile : 0 dB Suppression neuronale du bruit-difficile : 8 dB Sound Enhancer : <u>équilibré</u>	Réducteur de bruit LX : activé
		Mode microphonique	Neuronale	Multibande adaptative LX
Parole dans le bruit par défaut neuronal P2	Parole dans le bruit défaut P2	Algorithmes de réduction du bruit	Quelles situations sont faciles ou difficile pour votre client : <u>facile</u> Virtual Outer Ear : <u>restreint</u> Suppression neuronale du bruit-facile : 2 dB Suppression neuronale du Bruit-difficile : 10 dB Sound Enhancer : riche	Réducteur de bruit LX : activé
		Mode microphonique	Neuronale	Multibande adaptative LX
Parole dans le bruit maximum neuronale P3	Parole dans le bruit max P3	Algorithmes de réduction du bruit	<ul style="list-style-type: none"> Quelles situations sont faciles ou difficile pour votre client : <u>très facile</u> Virtual Outer Ear : <u>restreint</u> 	Réducteur de bruit LX : activé

			<ul style="list-style-type: none"> • Suppression neuronale du bruit-facile : 4 dB • Suppression neuronale du bruit-difficile : 10 dB • Sound Enhancer : confort 	
		Mode microphonique	Neuronale	Directionnel fixe
Parole dans le bruit maximum directive P4	Parole dans le bruit max P4	Algorithmes de réduction du bruit	<ul style="list-style-type: none"> • Quelles situations sont faciles ou difficile pour votre client : très facile • Suppression neuronale du bruit-facile : 4 dB • Suppression neuronale du bruit-difficile : 10 dB • Sound Enhancer : confort 	Réducteur de bruit LX : activé
		Mode Microphonique	Directivité total	Directionnel fixe

Annexe 12 : Capture d'écran de l'organisation des pistes sur le logiciel Ableton Live 11



Les 4 premières pistes correspondent aux enregistrements issus des appareils droites et gauche de chacun des paires d'appareils de classe I et II. Les pistes 5 et 6 correspondent à l'alternance d'un même moment traité respectivement par l'appareil de classe I puis de classe II.

Annexe 13 : Capture d'écran MATLAB des paramètres modifiables par l'utilisateur du script Comparaison-tout.m permettant d'extraire nos figures d'analyses

```
Comparaison_tout.m x +
/MATLAB Drive/Comparaison_tout.m
1
2 filename1="ZOOM0348_Tr1.WAV";
3 filename2="ZOOM0348_Tr2.WAV";
4 debut=0.31*44100 ; %numero de l'echantillon du debut
5 fin= 0.34*44100 ; %numero de l'echantillon de fin
6
7
8
9 [signal1,Fs]=audioread(filename1);
10 X1=signal1(debut:fin); %
11 [signal2]=audioread(filename2);
12 X2=signal2(debut:fin);
13 %% Comparaison enveloppe
14
15
16 minX1=min(X1)
17 maxiX1=max(X1)
18 minX2=min(X2)
19 MaxiX2=max(X2)
20
21 N=length(X1); %nbre d'échantillons
22 T_sec=N/Fs; %tps en sec
23 t=linspace(0,T_sec,N);
```

Annexe 14 : Capture d'écran du logiciel de montage vidéo DaVinci Resolve 18.

The screenshot displays a professional video editing software interface. At the top, the project name "Rechercher" is visible in the center, and "Timeline 1" is selected on the right. The top right corner shows a timecode of 00:00:23:00. The interface is divided into several key areas:

- Master Panel (Top Left):** Contains a grid of asset thumbnails including audio waveforms, image files like "Marvel 30.jpg" and "Lumity 90.jpg", and a video preview labeled "Timeline 1".
- Preview Window (Top Right):** Shows a scene from a restaurant with a waiter. A green text box is overlaid on the scene, containing the text "PHONAK Lumity 90 Classe 2".
- Timeline (Bottom):** A multi-track editing area with tracks labeled 3, 2, 1, and A1. It features a main timeline with a red playhead and various colored clips (blue, green, yellow) representing different media elements.
- Bottom Panel:** Shows a detailed view of the audio track (A1) with a green waveform and a series of small, repeating audio clips.