



HAL
open science

Mesure de la fatigue auditive des assistants de régulation médicale du SAMU travaillant sous casque téléphonique : impacts sur l'intelligibilité dans le bruit

Quentin Mifsud

► To cite this version:

Quentin Mifsud. Mesure de la fatigue auditive des assistants de régulation médicale du SAMU travaillant sous casque téléphonique : impacts sur l'intelligibilité dans le bruit. Médecine humaine et pathologie. 2015. hal-01826190

HAL Id: hal-01826190

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01826190>

Submitted on 29 Jun 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



UNIVERSITE DE LORRAINE

FACULTE DE PHARMACIE

**MESURE DE LA FATIGUE AUDITIVE DES ASSISTANTS DE REGULATION MEDICALE DU SAMU
TRAVAILLANT SOUS CASQUE TELEPHONIQUE : IMPACTS SUR L'INTELLIGIBILITE DANS LE
BRUIT**

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du

DIPLOME D'ETAT D'AUDIOPROTHESISTE

Par

Quentin MIFSUD

Novembre 2015

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier Monsieur Joël Ducourneau, co-directeur du Diplôme d'État d'Audioprothésiste, pour sa disponibilité, ses idées éclairées, ses connaissances et bien sûr la qualité de son enseignement.

Je remercie également l'ensemble de l'équipe enseignante du diplôme d'état, professeurs mais également intervenants, pour leurs nombreux conseils.

Merci à ma maître de stage et maître de mémoire, Madame Audrey Million, pour son accueil, son professionnalisme et sa disponibilité.

Je remercie les professionnels de l'Institut National de Recherche et de Sécurité ainsi que ceux de l'Hôpital Central de Nancy faisant partie du protocole de recherche, notamment le Professeur Cécile Parietti-Winkler, monsieur Pierre Campo et monsieur Thomas Venet, pour la confiance qu'ils ont pu me donner et leurs nombreux conseils.

Je remercie les assistants de régulation médicale du SAMU de l'Hôpital Central, qui ont bien voulu nous accorder du temps afin de procéder à notre expérimentation.

Enfin, je tiens particulièrement à remercier cinq personnes : messieurs Pierre Toussaint, Adrien Laheurte, Julien Remy, Maxime Schumeng et Terry Dervaux ; amis qui ont bien voulu prendre du temps sur un week end entier afin de se prêter à la seconde partie expérimentale de mon mémoire. Merci Infiniment.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
1. LA PAROLE.....	4
1.1. DÉFINITION.....	4
1.2. CARACTÉRISTIQUES DE LA PAROLE.....	5
1.2.1. <i>La hauteur</i>	5
1.2.2. <i>Le niveau</i>	6
1.2.3. <i>Le timbre</i>	6
1.3. LE SIGNAL DE PAROLE : COMPOSITION ET REPRÉSENTATIONS.....	6
1.3.1. <i>Composition temporelle [5] [6a]</i>	6
1.3.2. <i>Composition fréquentielle</i>	7
1.3.3. <i>Le spectrogramme</i>	8
2. NIVEAUX SONORES.....	10
2.1. LA PRESSION ACOUSTIQUE [9].....	10
2.2. ORIGINE DU DÉCIBEL EN ACOUSTIQUE [9].....	10
2.3. LES COURBES ISOSONIQUES [8].....	11
2.4. UNITÉS PHYSIOLOGIQUES : INTRODUCTION DES PONDÉRATIONS.....	11
3. LE BRUIT.....	14
3.1. DÉFINITION.....	14
3.2. CARACTÉRISTIQUES DU BRUIT.....	14
3.3. BRUITS MASQUANTS : SIGNAUX COURANTS EN AUDIOPROTHÈSE.....	15
3.3.1. <i>Le bruit blanc</i>	15
3.3.2. <i>L'Onde Vocale Globale (OVG)</i>	16
3.4. EXPOSITION SONORE : MÉTHODES DE MESURES.....	17
3.4.1. <i>Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A [8a]</i>	17
3.4.2. <i>Niveau d'exposition sur une durée effective de travail [8a]</i>	18

3.4.3.	<i>Niveau d'exposition quotidienne au bruit [8a]</i>	19
3.5.	LE BRUIT EN MILIEU PROFESSIONNEL : ASPECTS LÉGISLATIFS [16] [17].....	21
4.	COMPRÉHENSION DE LA PAROLE DANS LE BRUIT	23
4.1.	SÉGRÉGATION DES FLUX AUDITIFS [18].....	23
4.2.	INDICES NÉCESSAIRES À LA SÉGRÉGATION DES FLUX.....	24
4.2.1.	<i>Indices spectraux et temporels</i>	24
4.2.1.1	Indices spectraux.....	24
4.2.1.2	Indices temporels [6b].....	25
4.2.2.	<i>Indices relatifs au locuteur</i>	25
4.2.3.	<i>Indices relatifs à l'auditeur</i>	25
4.2.4.	<i>Caractéristiques du bruit perturbateur [18]</i>	27
5.	NUISANCES PROVOQUÉES PAR LE BRUIT	28
5.1.	EFFETS EXTRA-AUDITIFS DU BRUIT [24].....	28
5.2.	EFFETS AUDITIFS DU BRUIT.....	29
5.2.1.	<i>La surdité [25]</i>	29
5.2.2.	<i>Les acouphènes [26] [27]</i>	29
5.2.3.	<i>La fatigue auditive [28] [29] [30]</i>	30
5.2.3.1	Physiologie : la fatigue auditive métabolique.....	30
5.2.3.2	Impacts de la fatigue auditive.....	33
6.	AUDIOMÉTRIE VOCALE DANS LE BRUIT, SPAN TEST ET TEST ANL	34
6.1.	SUPPORT INFORMATIQUE : BIOSOUNDSYSTEM 3.0 ET DISTORSIONS.....	34
6.1.1.	<i>BioSoundSystem 3.0 [32]</i>	34
6.1.2.	<i>Distorsions [34]</i>	36
6.2.	AUDIOMÉTRIE VOCALE.....	37
6.2.1.	<i>Définition [21b]</i>	37
6.2.2.	<i>Matériel</i>	38
6.2.2.1	Matériel métrologique.....	38

6.2.2.2	Matériel vocal.....	38
6.2.3.	<i>Les listes de mots dissyllabiques de Fournier : matériel vocal utilisé dans l'expérimentation [35].....</i>	39
6.2.4.	<i>Principe de l'audiométrie vocale dans le silence [36].....</i>	39
6.2.5.	<i>Audiométrie vocale dans le bruit [6c].....</i>	41
6.2.5.1	Matériel.....	41
6.2.5.1.1	Matériel métrologique.....	41
6.2.5.1.2	Matériel sonore.....	42
6.2.5.2	Passation.....	43
6.2.5.3	Représentation graphique.....	44
6.2.5.4	Intérêts de l'audiométrie vocale dans le bruit.....	45
6.2.5.5	Limites de l'audiométrie vocale dans le bruit.....	45
6.3.	SPAN TEST.....	46
6.3.1.	<i>Matériel.....</i>	46
6.3.2.	<i>Passation.....</i>	47
6.3.3.	<i>Interprétation des résultats.....</i>	47
6.3.4.	<i>Intérêts.....</i>	48
6.3.5.	<i>Limites.....</i>	48
6.4.	TEST ANL (ACCEPTABLE NOISE LEVEL) [14B].....	48
6.4.1.	<i>Matériel.....</i>	49
6.4.2.	<i>Passation.....</i>	50
6.4.2.1	Passation générale.....	50
6.4.2.2	Passation modifiée pour l'expérimentation.....	50
6.4.3.	<i>Intérêts.....</i>	51
6.4.4.	<i>Limites.....</i>	51
7.	ORIGINE DE L'ÉTUDE ET PREMIÈRE EXPÉRImentation.....	53
7.1.	INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUES.....	53
7.1.1.	<i>Origine de l'étude.....</i>	53

7.1.2.	<i>Problématiques.....</i>	54
7.1.3.	<i>Mise en place de l'étude expérimentale.....</i>	54
7.2.	POPULATION ÉTUDIÉE.....	56
7.3.	AUDIOMÉTRIE VOCALE DANS LE BRUIT ET SPAN TEST : CONDITIONS DE RÉALISATION.....	58
7.3.1.	<i>Le local de mesures audiométriques.....</i>	58
7.3.2.	<i>Matériel utilisé.....</i>	59
7.3.3.	<i>Calibration du matériel.....</i>	62
7.4.	PROTOCOLE D'ÉTUDE.....	63
7.4.1.	<i>Otoscopie.....</i>	63
7.4.2.	<i>Audiométrie vocale dans le bruit.....</i>	63
7.4.3.	<i>SPAN Test.....</i>	64
7.4.4.	<i>Remarques.....</i>	65
7.5.	RÉSULTATS STATISTIQUES ET DISCUSSION.....	66
7.5.1.	<i>Rappels de notions statistiques.....</i>	66
7.5.1.1	<i>Moyenne arithmétique [42].....</i>	66
7.5.1.2	<i>Écart type [42].....</i>	66
7.5.2.	<i>Résultats de l'étude.....</i>	67
7.5.2.1	<i>Audiométrie vocale dans le bruit.....</i>	67
7.5.2.2	<i>SPAN test.....</i>	69
7.5.2.3	<i>Observations et interprétations.....</i>	70
7.5.3.	<i>Autres résultats de la recherche</i>	71
7.5.3.1	<i>Activité téléphonique moyenne.....</i>	71
7.5.3.2	<i>Exposition sonore journalière.....</i>	72
7.5.3.3	<i>Ressenti personnel de chaque sujet.....</i>	73
7.5.3.4	<i>Charge mentale de travail.....</i>	74
7.5.4.	<i>Conclusions de l'étude.....</i>	74
8.	ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE.....	76
8.1.	INTRODUCTION À LA SECONDE EXPÉRIMENTATION.....	76

8.2.	POPULATION ÉTUDIÉE.....	77
8.3.	CONDITIONS DE RÉALISATION.....	79
8.3.1.	<i>Le local de mesures audiométriques.....</i>	79
8.3.2.	<i>Matériel utilisé.....</i>	79
8.3.2.1	Matériel destiné aux mesures.....	79
8.3.2.2	Matériel destiné à l'exposition sonore.....	82
8.3.3.	<i>Calibration du matériel.....</i>	83
8.4.	PROTOCOLE DE L'ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE.....	86
8.4.1.	<i>Otoscopie.....</i>	86
8.4.2.	<i>Audiométrie tonale liminaire.....</i>	87
8.4.3.	<i>Audiométrie vocale dans le bruit.....</i>	87
8.4.4.	<i>SPAN Test.....</i>	87
8.4.5.	<i>Test ANL.....</i>	87
8.4.6.	<i>Remarques.....</i>	88
8.5.	RÉSULTATS STATISTIQUES ET DISCUSSION.....	89
8.5.1.	<i>Audiométrie vocale dans le bruit.....</i>	89
8.5.2.	<i>SPAN Test.....</i>	91
8.5.3.	<i>Test ANL.....</i>	92
8.5.4.	<i>Observations et interprétations.....</i>	93
8.5.5.	<i>Conclusions de l'étude complémentaire.....</i>	95
9.	CONCLUSION GÉNÉRALE.....	96
	BIBLIOGRAPHIE.....	97
	ANNEXES.....	101

Table des illustrations

<i>Figure 1 : L'appareil phonatoire (poumons et thorax non-représentés) [4].....</i>	<i>5</i>
<i>Figure 2 : Composition temporelle d'un signal vocal [7].....</i>	<i>7</i>
<i>Figure 3 : Représentation spectrale d'un signal (bleu) accompagné de son enveloppe (rouge) [8]....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 4 : spectrogramme large bande [3b].....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 5 : Réseau de courbes isosoniques de Fletcher et Munson [10].....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 6 : Courbes de pondérations [11].....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 7 : Effet de masque d'un son pur par un autre son pur (Wegel & Lane) [14a].....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 8 : densité spectrale du bruit blanc, en bandes fines puis par bandes d'octave [8b].....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 9 : Incertitude élargie U_1, nombre de jours de mesures en fonction de l'écart-type des N valeurs mesurées [8a].....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 10 : processus d'analyse en flux auditifs [19].....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 11 : Vue de surface d'une cochlée de rat saine [30].....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 12 : Vue de surface de cette même cochlée après traumatisme sonore [30].....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 13 : choc excitotoxique [30].....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 14 : logo du logiciel BioSoundSystem 3.0 [33].....</i>	<i>35</i>
<i>Figure 15 : logo du logiciel Distorsions [34].....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 16 : graphique de notation des résultats de l'audiométrie vocale dans le silence [37].....</i>	<i>40</i>
<i>Figure 17 : Disposition des haut-parleurs lors de l'audiométrie vocale dans le bruit, sujet au centre</i>	<i>41</i>
<i>Figure 18 : Configuration des haut-parleurs pour l'audiométrie vocale dans le bruit, BioSoundSystem 3.0.....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 19 : graphique de notation des résultats de l'audiométrie vocale dans le bruit.....</i>	<i>44</i>
<i>Figure 20 : Utilisation des haut-parleurs pour le test ANL, logiciel BioSoundSystem 3.0.....</i>	<i>49</i>
<i>Figure 21 : audiogramme tonal moyen de la population testée avec écarts type (dB).....</i>	<i>57</i>
<i>Figure 22 : valeurs relevées lors de la mesure du niveau de bruit de fond équivalent.....</i>	<i>59</i>
<i>Figure 23 : valeurs relevées lors de la mesure du temps de réverbération.....</i>	<i>59</i>
<i>Figure 24 : sonomètre Brüel & Kjaer de type 2260 [41].....</i>	<i>59</i>

<i>Figure 25 : disposition de la salle de mesure audiométrique.....</i>	<i>61</i>
<i>Figure 26 : poste de travail du testeur.....</i>	<i>61</i>
<i>Figure 27 : fenêtre de calibration du BioSoundSystem 3.0 [32].....</i>	<i>62</i>
<i>Figure 28 : scores moyens obtenus à l'audiométrie vocale dans le bruit en fonction du RSB, avant et après travail.....</i>	<i>68</i>
<i>Figure 29 : différence moyenne de score d'audiométrie vocale dans le bruit par sujet en fonction du RSB.....</i>	<i>69</i>
<i>Figure 30 : audiogramme tonal moyen des sujets testés, avec écarts type (dB).....</i>	<i>78</i>
<i>Figure 31 : disposition des haut-parleurs dans la salle de mesures, haut-parleur central désigné par la flèche rouge.....</i>	<i>81</i>
<i>Figure 32 : KEMAR de la Faculté de Pharmacie.....</i>	<i>83</i>
<i>Figure 33 : piston-phone spécifique pour KEMAR et adaptateur.....</i>	<i>84</i>
<i>Figure 34 : étape d'étalonnage du KEMAR.....</i>	<i>84</i>
<i>Figure 35 : scores moyens obtenus à l'audiométrie vocale dans le bruit en fonction du RSB, avant et après écoute du fichier sonore de 2 heures.....</i>	<i>91</i>
<i>Figure 36 : scores moyens obtenus à l'audiométrie vocale dans le bruit en fonction du RSB, avant et après écoute du fichier sonore de 4 heures.....</i>	<i>91</i>

Table des tableaux

<i>Tableau 1 : score de compréhension à l'audiométrie vocale dans le bruit en fonction du RSB, avant et après travail.....</i>	<i>67</i>
<i>Tableau 2 : différence de score d'audiométrie vocale dans le bruit par sujet avant par rapport à après travail.....</i>	<i>68</i>
<i>Tableau 3 : résultats du SPAN TEST, avant travail, après travail puis variation avant/après.....</i>	<i>70</i>
<i>Tableau 4 : activité téléphonique de chaque sujet, en fonction de la période de travail diurne ou nocturne.....</i>	<i>71</i>
<i>Tableau 5 : exposition sonore partielle de communication et exposition sonore journalière.....</i>	<i>73</i>
<i>Tableau 6 : score de compréhension à l'audiométrie vocale dans le bruit en fonction du RSB, avant puis après exposition sonore, fichier de 2 heures.....</i>	<i>89</i>
<i>Tableau 7 : différence de score d'audiométrie vocale dans le bruit par sujet avant par rapport à après exposition, fichier de 2 heures.....</i>	<i>89</i>
<i>Tableau 8 : score de compréhension à l'audiométrie vocale dans le bruit en fonction du RSB, avant puis après exposition sonore, fichier de 4 heures.....</i>	<i>90</i>
<i>Tableau 9 : différence de score d'audiométrie vocale dans le bruit par sujet avant par rapport à après exposition, fichier de 4 heures.....</i>	<i>90</i>
<i>Tableau 10 : résultats du SPAN TEST, avant et après exposition, puis variation avant/après, fichier sonore de 2 heures.....</i>	<i>92</i>
<i>Tableau 11 : résultats du SPAN TEST, avant et après exposition, puis variation avant/après, fichier sonore de 4 heures.....</i>	<i>92</i>
<i>Tableau 12 : résultats du test ANL, avant et après exposition, puis variation avant/après, fichier sonore de 2 heures.....</i>	<i>93</i>
<i>Tableau 13 : résultats du test ANL, avant et après exposition, puis variation avant/après, fichier sonore de 4 heures.....</i>	<i>93</i>

INTRODUCTION

L'audition est à l'origine même de la communication humaine. Parler, communiquer, sont des éléments indispensables à l'épanouissement personnel, à la vie en société et même à la survie de notre espèce. Néanmoins, plusieurs facteurs sont susceptibles de gêner cette communication, tels que le bruit.

Le bruit possède un aspect agressif très souvent négligé par la plupart des êtres humains. En effet, la pollution sonore existe aujourd'hui partout : domestiquement, dans la rue, en industrie et dans la nature même. La population, peu informée par les dangers que représente le bruit, s'expose parfois à des niveaux sonores très élevés et pendant de longues durées.

Ces expositions sonores, qu'elles soient volontaires ou non, ont un impact sur l'audition de chaque individu. C'est malheureusement avec le temps, et lorsqu'il est « trop tard » qu'une personne se rend compte que sa capacité de compréhension est diminuée, que ce soit dans le silence ou en présence de bruit.

La fatigue auditive est un des impacts produits par l'exposition sonore prolongée au bruit. Peu visible sans matériel audiométrique, un grand nombre d'individus ne se rendent pas compte de ce qui leur arrive et des risques que cela représente.

Déroulement de l'étude :

L'origine de ce mémoire provient d'un protocole de recherche mené conjointement entre l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) et le service ORL de l'Hôpital Central de Nancy, sur la fatigue auditive auprès de travailleurs exposés au bruit.

Notre travail consiste à pratiquer l'examen d'audiométrie vocale dans le bruit sur un échantillon de population ciblé : les assistants de régulation médicale du SAMU de l'Hôpital Central de Nancy.

Organisation du mémoire :

Notre travail s'articule sous trois axes principaux : une partie théorique, suivie de deux protocoles expérimentaux bien distincts.

Dans la partie théorique, nous nous intéresserons aux différents éléments de base qui nous permettent de communiquer, les caractéristiques du bruit, ses impacts sur le système auditif humain jusqu'à l'origine de la compréhension de la parole dans le bruit. Nous présenterons ensuite le matériel et les examens utilisés lors des expérimentations.

Dans la partie pratique, nous débuterons par présenter l'origine, les objectifs et le protocole de l'étude sur les assistants de régulation médicale du SAMU. Nous décrirons la population étudiée ainsi que les conditions de réalisation des examens. Les résultats obtenus seront analysés autour d'une discussion où nous répondrons aux problématiques posées.

Ces résultats nous amèneront à la mise en place d'une étude complémentaire, ou sera décrit un nouveau protocole expérimental. Nous décrirons la population étudiée ainsi que les nouvelles conditions de réalisation des examens. Cette seconde expérimentation nous permettra d'émettre nos conclusions à l'étude.

PARTIE THEORIQUE

Dans cette partie, nous allons nous intéresser aux éléments théoriques nécessaires à la bonne compréhension du sujet du mémoire : l'étude de la fatigue auditive. Pour se faire, nous allons aborder différentes notions telles que la parole et sa production, les caractéristiques du bruit et des niveaux sonores, la compréhension de la parole dans le bruit. Nous allons également nous intéresser aux différents tests mis en place dans la partie expérimentale, de leur origine à leur application.

1. LA PAROLE

1.1. DÉFINITION

La parole, propre à l'être humain, se définit comme la capacité personnelle à parler, à s'exprimer oralement [1a].

D'un point de vue phonatoire, la parole (autrement appelée « phonation ») correspond à l'ensemble des mécanismes physiologiques et neurophysiologiques qui aboutit à la production des sons du langage [2].

Le système mécanique de production de la parole se décompose chez l'Homme en 3 parties :

- les organes respiratoires : les poumons et le thorax, qui agissent comme un compresseur d'air,
- les organes phonatoires : les cordes vocales, qui agissent comme des oscillateurs. Elles génèrent une source sonore, le voisement,
- les organes articulatoires : les cavités aériennes supra-laryngées, qui agissent comme des résonateurs [3a].

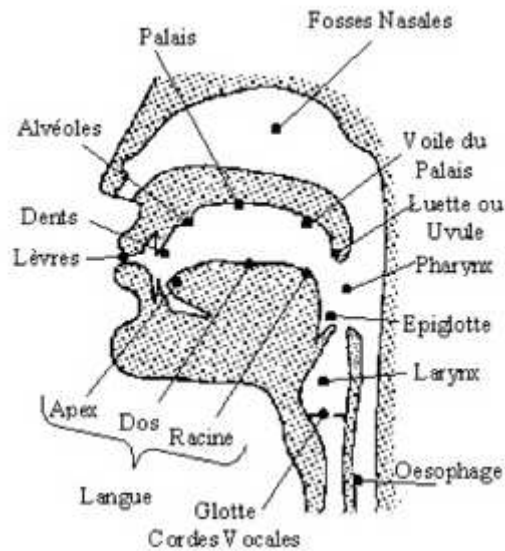


Figure 1 : L'appareil phonatoire (poumons et thorax non-représentés) [4]

1.2. CARACTÉRISTIQUES DE LA PAROLE

1.2.1. La hauteur

La hauteur correspond à la sensation auditive liée à la fréquence vibratoire des cordes vocales, autrement appelée fondamental laryngé (« F0 »). Ce dernier, unique pour chaque individu, varie en fonction des caractéristiques physiologiques du locuteur. La variabilité est importante en fonction du sexe et de l'âge de l'individu :

- autour de 100 Hz pour un homme,
- autour de 200 Hz pour une femme,
- autour de 300 Hz pour un enfant.

C'est donc grâce à cette hauteur que le système auditif est capable de discerner une voix grave (ou basse) d'une voix aiguë (ou haute), et de reconnaître un locuteur.

1.2.2. Le niveau

Le niveau moyen de la parole en milieu calme se situe entre 60 et 65 dB SPL (« Sound Pressure Level ») à une distance de 1 mètre. L'énergie contenue dans le signal de parole varie en fonction de sa composition fréquentielle. En effet, une partie conséquente de l'énergie est contenue dans les fréquences graves, de 300 Hz à 700 Hz environ, région où se situent les premiers formants (« F1 ») des voyelles. Les consonnes, contenues dans les fréquences médiums à aiguës (autour de 2000 Hz), sont peu énergétiques. De ces faits, nous pouvons interpréter que les fréquences aiguës ont pour rôle l'articulation du message de parole, tandis que les fréquences graves apportent l'énergie nécessaire pour obtenir un niveau sonore audible et compréhensible.

1.2.3. Le timbre

Comme la hauteur, le timbre a un rôle déterminant dans la reconnaissance du locuteur. Il correspond à la coloration de la parole d'un individu. Cette coloration est issue de la modulation et de la filtration de la source sonore (voisement, fondamental laryngé) à travers les cavités aériennes supra-laryngées. L'action de ces résonateurs sur le fondamental laryngé donne naissance à un faisceau d'harmoniques particulier et individuel. Il donne des indices au système auditif sur le locuteur, tels que son âge, son sexe et sa provenance.

1.3. LE SIGNAL DE PAROLE : COMPOSITION ET REPRÉSENTATIONS

1.3.1. Composition temporelle [5] [6a]

Le signal de parole est composé de multiples variations d'amplitude, plus ou moins importantes, nécessaires à la bonne analyse des indices acoustiques et articulatoires du message sonore, et donc à son intelligibilité. Sur l'étendue fréquentielle du signal, nous pourrions observer deux principales caractéristiques :

- les modulations externes correspondent à des fluctuations lentes du niveau moyen du locuteur. Elles sont inférieures à 50 Hz et forment l'enveloppe temporelle du signal de parole,

- les modulations internes sont très rapides (de 600 Hz à 10 kHz) et correspondent à l'alternance de phonèmes faibles et forts d'un point de vue énergétique. Ainsi, on observe la formation de pics et de creux d'amplitude. Les pics d'amplitude peuvent atteindre une émergence sonore de 9 dB à 12 dB par rapport au niveau moyen de la parole à long terme. Ils jouent un rôle essentiel dans l'intelligibilité de la parole en milieu bruyant.

Ces deux éléments sont indispensables à la capacité de compréhension du message vocal pour notre système auditif, tant bien au niveau périphérique qu'au niveau central.

L'illustration suivante correspond à la représentation temporelle d'un signal de parole lambda, suivi de son enveloppe temporelle au sens large puis de sa structure fine.

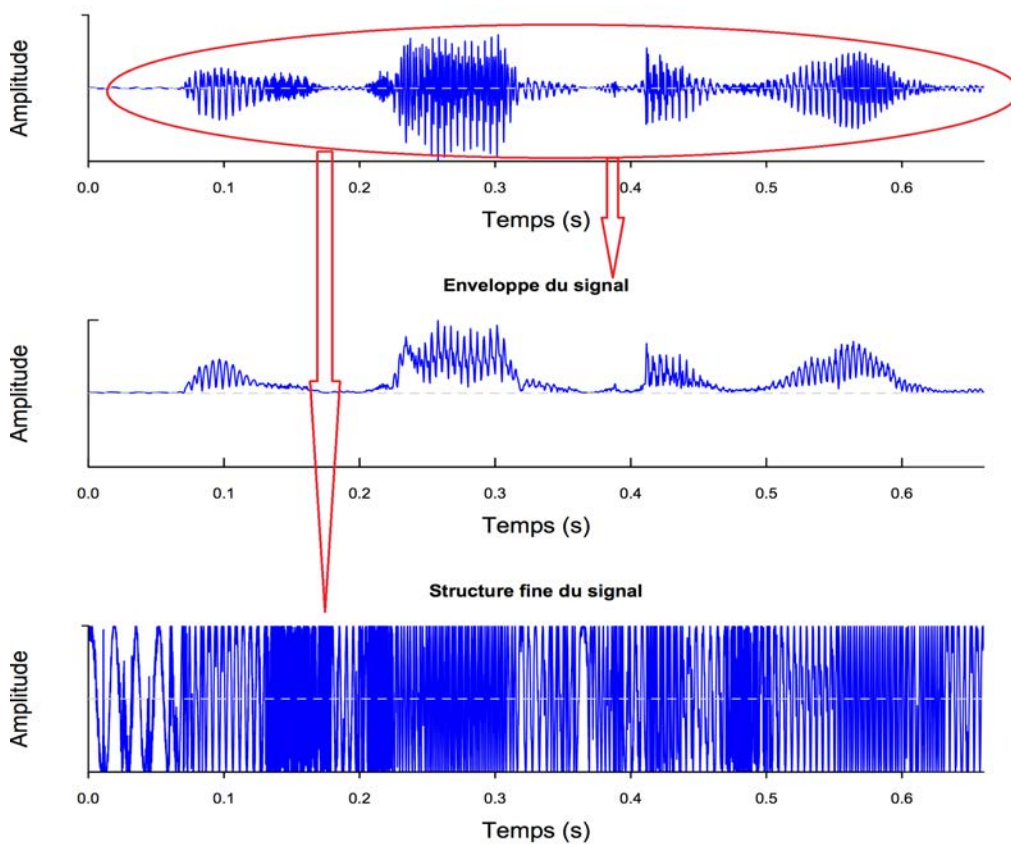


Figure 2 : Composition temporelle d'un signal vocal [7]

1.3.2. Composition fréquentielle

La composante fréquentielle s'ajoute à la composante temporelle dans la nécessité de compréhension d'un message vocal. Cette composition fréquentielle, représentée par un spectre ,

traduit l'énergie (en dB) contenue par le signal en fonction de la fréquence (en Hz), sur une fenêtre d'observation de durée connue. Ce type de spectre est obtenu par la transformée de Fourier du signal temporel.

Un spectre peut représenter l'énergie contenue fréquence par fréquence mais aussi par bande de fréquences (généralement par octave ou par tiers d'octave). Tout dépend de l'objectif d'utilisation de l'outil.

Ce type d'analyse a pu ainsi mettre en évidence la composition énergétique de la parole (plus d'énergie dans les fréquences graves que dans les fréquences aiguës). Il est à noter que cette composition varie en fonction des interlocuteurs et également du niveau de parole (voix forte, moyenne ou chuchotée). Par exemple, le voix chuchotée, qui correspond à l'absence de voisement, sera moins chargée en basses fréquences (absence du fondamental laryngé).

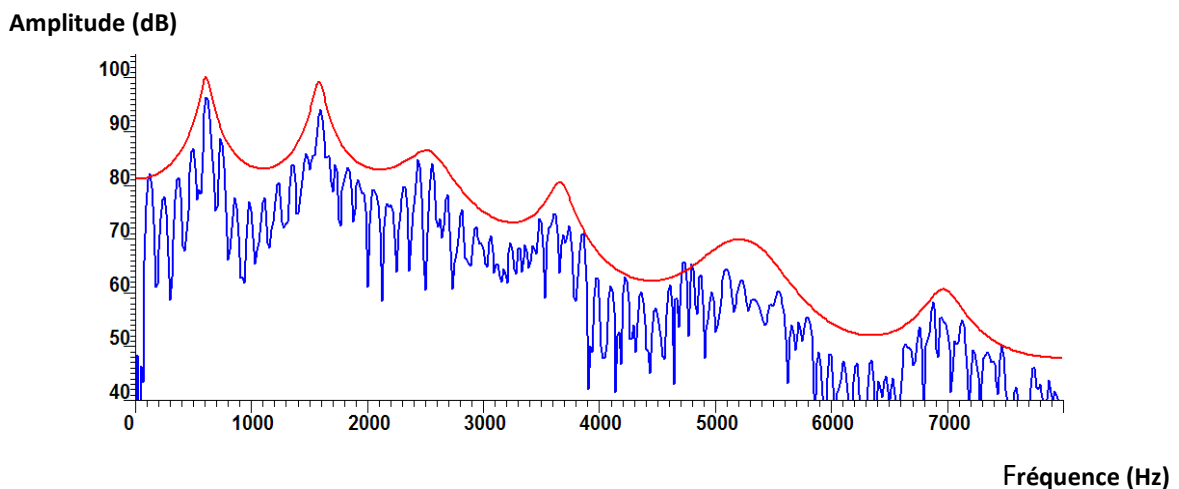


Figure 3 : Représentation spectrale d'un signal (bleu) accompagné de son enveloppe (rouge) [8]

1.3.3. Le spectrogramme

Autrement appelé sonagramme, le spectrogramme est une représentation graphique d'un signal vocal conciliant les trois caractéristiques de ce dernier : l'énergie (dB), la fréquence (Hz) et le

temps (s). Ainsi, les composantes temporelle et fréquentielle sont prises en compte dans une même représentation, par le biais de deux axes et d'une variation de couleur :

- l'axe des temps se situe en abscisse,
- l'axe des fréquences se situe en ordonnée,
- l'intensité de noirceur (ou parfois en couleurs) est proportionnelle à l'énergie contenue.

Le spectrogramme est donc la représentation la plus riche en informations pour l'analyse d'un signal de parole.

En faisant varier la durée de la fenêtre d'observation temporelle choisie, il est possible d'obtenir un spectrogramme à bande étroite (plus de précision temporelle) ou à bande large (plus de précision fréquentielle).

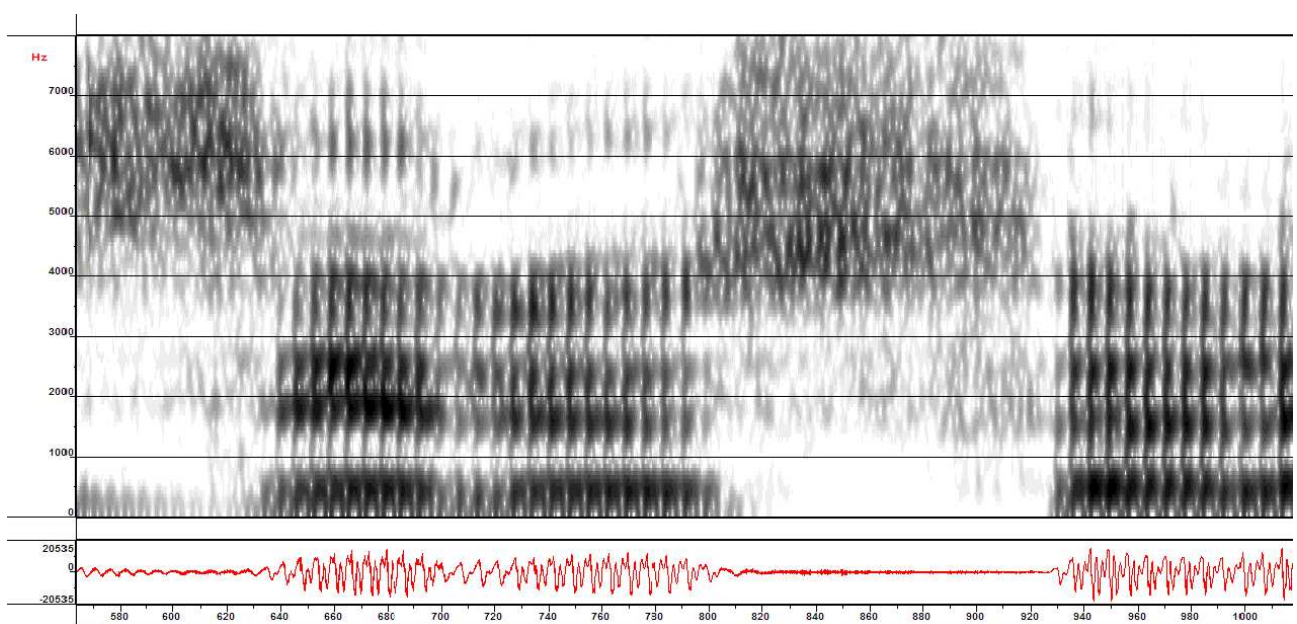


Figure 4 : spectrogramme large bande [3b]

2. NIVEAUX SONORES

2.1. LA PRESSION ACOUSTIQUE [9]

La pression acoustique correspond à la valeur efficace, sur un intervalle de temps donné, de la variation rapide de la pression atmosphérique qui cause une sensation sonore. Elle s'exprime en Pascal (« Pa »). Au niveau de l'oreille humaine, la gamme de pression acoustique efficace audible est très large : de $2 \cdot 10^{-5}$ Pa pour le seuil minimal perceptible à 200 Pa pour le seuil de douleur.

2.2. ORIGINE DU DÉCIBEL EN ACOUSTIQUE [9]

Les scientifiques Weber et Fechner ont décrit dans une loi le comportement de l'oreille face à la pression acoustique : « *la sensation croît linéairement avec le logarithme de l'excitation* ».

Cette loi va permettre au monde de l'acoustique de simplifier cette large gamme de valeurs de pression sonore efficace. Ainsi, le niveau de pression acoustique en dB SPL (« Sound Pressure Level ») est exprimé tel que :

$$L_p = 10 \lg\left(\frac{p_{eff}^2}{p_0^2}\right)$$

Pression de référence $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa, correspond au seuil minimal perceptible à 1 kHz.

Grâce à la fonction logarithmique, la gamme de niveau de pression acoustique audible sera réduite à 140 valeurs (entières). Il est logique d'ajouter qu'un niveau L_p peut dépasser 140 dB SPL, cette valeur n'étant pas une limite physique.

2.3. LES COURBES ISOSONIQUES [8]

Si l'on souhaite se référer à la sensation de l'oreille humaine, le niveau de pression acoustique (en dB SPL) ne sera pas réellement adéquat. En effet, la sensation d'intensité de l'oreille humaine diffère en fonction de la fréquence pour un même niveau (fonction de transfert de l'oreille). De cette observation découlent les lignes isosoniques (norme internationale), d'après les travaux de Fletcher et Munson.

Ces lignes isosoniques fournissent le niveau de sons purs, en fonction de la fréquence procurant la même sensation d'intensité.

Ces courbes sont graduées en Phones (P), cette unité correspond au niveau en dB de chaque courbe à 1 kHz.

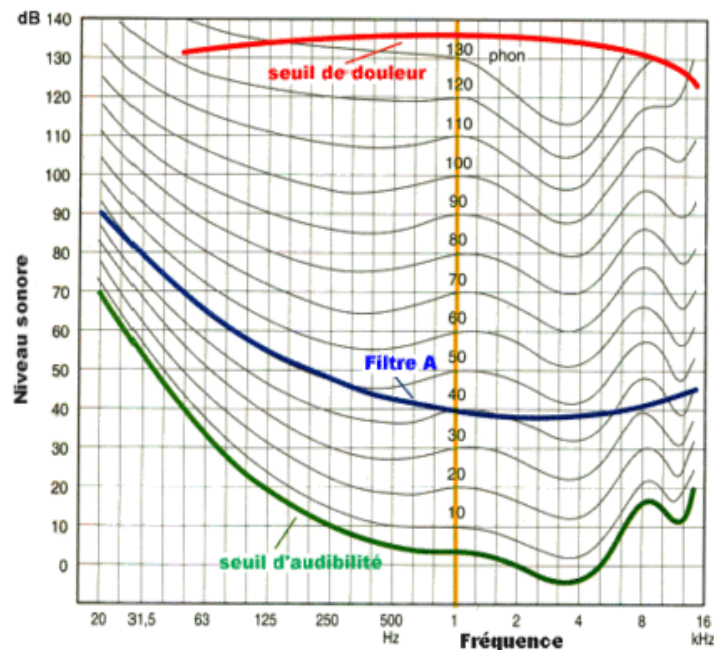


Figure 5 : Réseau de courbes isosoniques de Fletcher et Munson [10]

2.4. UNITÉS PHYSIOLOGIQUES : INTRODUCTION DES PONDÉRATIONS

Dans l'objectif de traduire l'effet physiologique du niveau de pression acoustique à l'échelle de l'oreille humaine, des pondérations sont introduites dans les mesures de niveaux sonores. Celles-ci sont normalisées et ont été choisies afin de se rapprocher des courbes isosoniques de Fletcher et Munson. Les trois pondérations principalement utilisées sont :

- A [dB(A)], courbe 40 phones, destinée aux bruits faibles,
- B [dB(B)], courbe 70 phones, destinée aux bruits moyens,
- C [dB(C)], courbe 100 phones, destinée aux bruits forts.

En métrologie, la membrane microphonique d'un sonomètre classique va capter les micro-variations autour de la pression atmosphérique. Ces appareils sont alors capables d'afficher des niveaux de pression acoustique (ou d'intensité), en décibels dits linéaires (« dB lin »). Si l'utilisateur souhaite visualiser la mesure en se rapprochant de la physiologie de l'oreille humaine, il suffira de pré-régler le sonomètre avec la pondération choisie. Ainsi, cette dernière va permettre d'intégrer une correction des niveaux mesurés par octave ou par tiers d'octave. En somme, une pondération a pour rôle de filtrer fréquentiellement un signal entrant.

La figure 6 représente l'allure des courbes de pondérations. Effectivement, chaque allure ne suit pas exactement celle de la courbe isosonique correspondante, car ces filtres datant du milieu du vingtième siècle (1936 pour la pondération A) ont été créés sans technologie numérique. On notera également l'existence de la pondération D, qualifiant des bruits de niveaux très élevés (utilisation dans l'acoustique aéronautique).

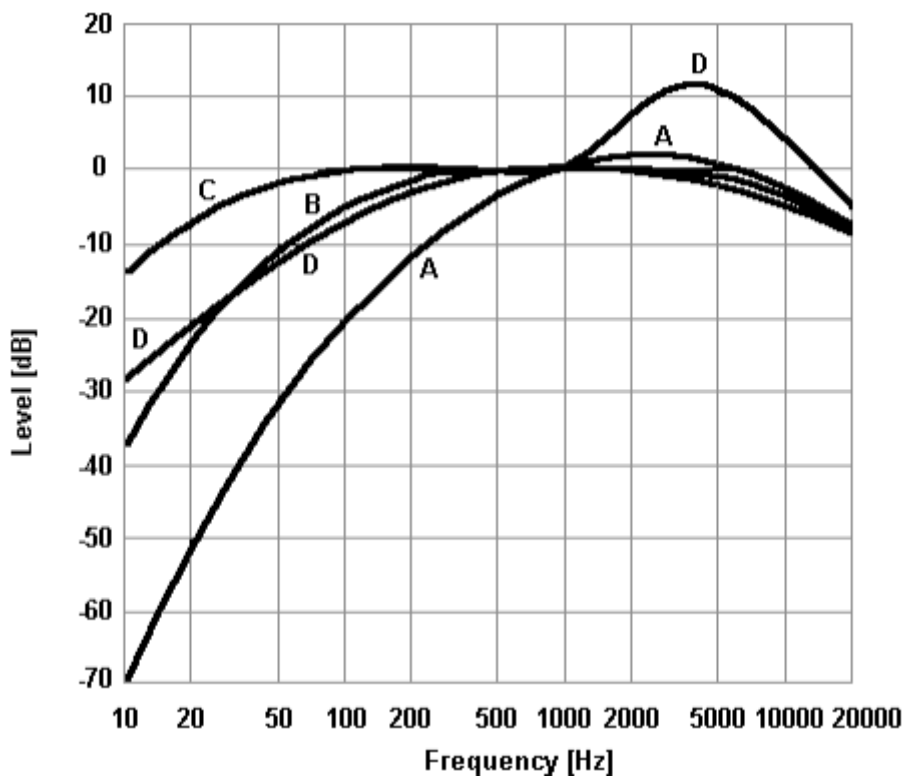


Figure 6 : Courbes de pondérations [11]

D'un point de vue législatif, dans l'objectif de faire apparaître le caractère physiologique des décibels, la pondération A est constamment utilisée. Cette unité est réglementaire, même pour des bruits de niveaux élevés, dans la plupart des domaines liés au bruit. Nous observons tout de même une exception concernant les bruits à caractère impulsionnel, réglementés par des seuils en dB(C). La réglementation concernant le bruit en milieu professionnel sera vu plus en profondeur dans un prochain chapitre.

3. LE BRUIT

3.1. DÉFINITION

Plusieurs définitions existent pour caractériser le mot « bruit ». En règle générale, le bruit correspond à « l'ensemble des sons produits par des vibrations, perceptibles par l'ouïe » [1b].

Si l'on se réfère à la physiologie humaine pour définir le bruit, il correspondra à un « phénomène acoustique produisant une sensation auditive considérée comme désagréable ou gênante » [12].

Nous nous référerons ici à la seconde définition, plus scientifique que la première. En effet, le bruit est un phénomène acoustique induisant un défaut ou une gêne au système auditif pour la compréhension d'un signal sonore.

3.2. CARACTÉRISTIQUES DU BRUIT

Il existe plusieurs types de bruits, plus ou moins nocifs pour l'oreille humaine. Ainsi, plusieurs paramètres sont à prendre en compte :

- l'intensité : plus elle est grande, plus le système auditif s'expose à un risque traumatique (surdité temporaire voire définitive, à degré variable),
- la composition fréquentielle : en effet, deux bruits de même niveaux sonores peuvent avoir une nocivité différente. Par exemple, un bruit riche en fréquences aiguës sera plus dangereux pour l'oreille qu'un bruit riche en fréquences graves,
- la durée : la nocivité d'un bruit sera proportionnelle à son intensité mais également à la durée d'exposition de ce bruit. Une exposition prolongée à un certain niveau sonore peut engendrer une fatigue auditive.

Il faut bien sûr prendre en compte la source de bruit, mais également porter son attention sur le récepteur, c'est-à-dire l'individu. Ses propres paramètres physiologiques sont variables et influent sur sa sensibilité au bruit ( ge, perte auditive...).

3.3. BRUITS MASQUANTS : SIGNAUX COURANTS EN AUDIOPROTHÈSE

L'effet de masque correspond à la capacité d'un bruit, de composition fréquentielle connue, à pouvoir empêcher la captation d'un autre bruit ou d'un message vocal.

L'étude de l'effet de masque limitée aux sons purs (Wegel et Lane, 1924) a permis de dégager un certain nombre de lois. Brièvement, un son pur est capable de masquer un autre son pur, lorsque les fréquences de ceux-ci sont voisines. Plus l'écart fréquentiel est faible et plus cet effet sera maximal. L'effet de masque croît en fonction du niveau du son masquant. En somme, les bruits riches en basses fréquences ont un pouvoir masquant important (bruits de roulement, bruits de moteur...) et les bruits riches en hautes fréquences seront facilement masqués [13].

Plusieurs types de bruits masquants existent. Nous allons par la suite présenter deux bruits, l'un étant le plus connu dans le monde de l'audioprothèse, et l'autre étant celui utilisé dans les expérimentations de ce mémoire.

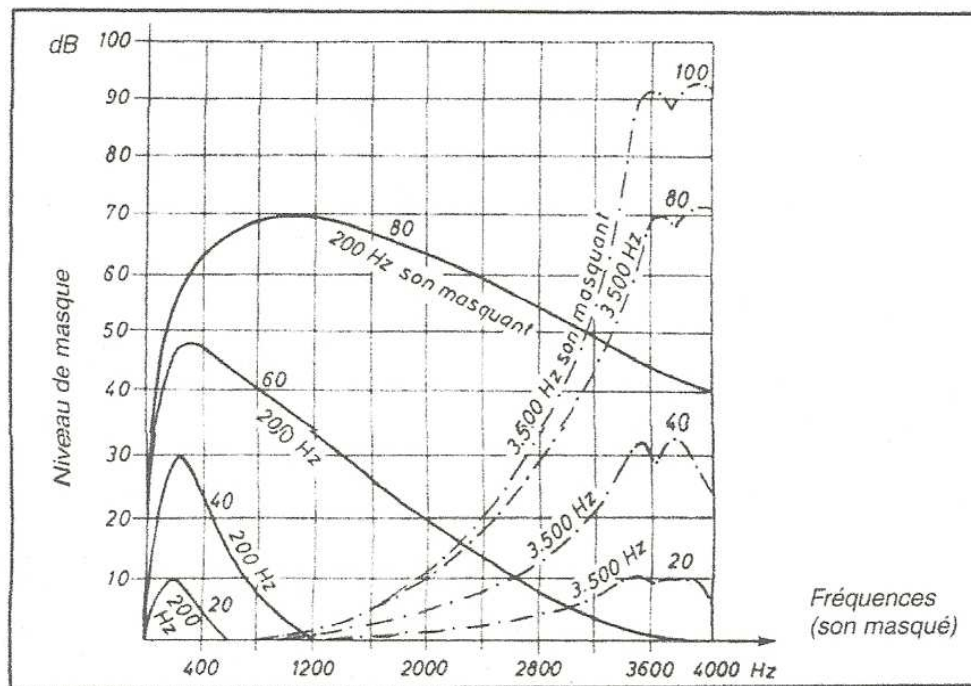


Figure 7 : Effet de masque d'un son pur par un autre son pur (Wegel & Lane) [14a]

3.3.1. Le bruit blanc

Le bruit blanc est composé de l'ensemble des fréquences audibles. Il constitue, sur une bande passante de largeur infinie, le bruit de fond thermique de la matière. Il est obtenu en

amplifiant le bruit de fond de composants électroniques [8b].

Le spectre fréquentiel du bruit blanc est continu : sa densité spectrale (en dB/Hz) est constante quelque soit la fréquence. Si l'on représente cette densité spectrale par bandes d'octave, elle augmentera de manière constante bande par bande avec une pente de 3 dB/octave (la largeur des bandes augmentant de façon logarithmique).

D'un point de vue auditif, l'écoute du bruit blanc s'apparente à un souffle.

En audiométrie, le bruit blanc est utilisé par exemple lors de l'assourdissement (« masking ») de l'oreille controlatérale (au casque), dans le cas de suspicion d'une surdité unilatérale ou d'une forte asymétrie. Pour cela, le bruit blanc est filtré autour de la fréquence du son pur testé au niveau de l'autre oreille.

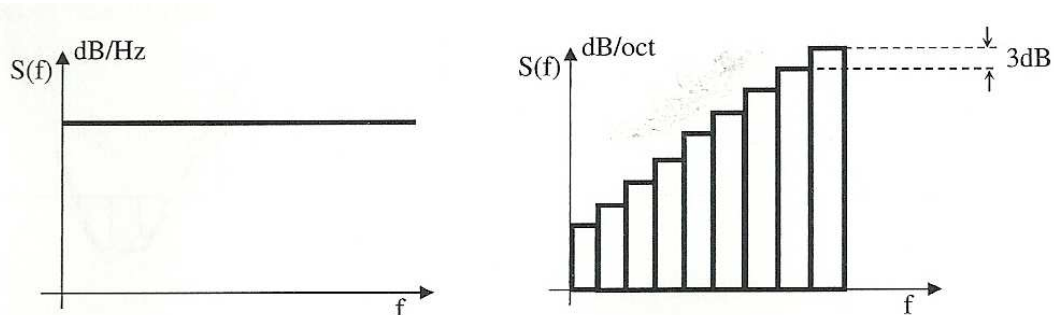


Figure 8 : densité spectrale du bruit blanc, en bandes fines puis par bandes d'octave [8b]

3.3.2. L'Onde Vocale Globale (OVG)

Créée par L. Dodelé dans le contexte de son test AVfB (Audiométrie Verbo-Fréquentielle en présence de Bruit), l'onde vocale globale est un signal de bruit masquant ayant des propriétés très proches de la réalité de la parole pour l'audiométrie vocale en présence de bruit.

Les caractéristiques de ce bruit sont les suivantes :

- discontinu : toute oreille saine exploite ainsi son pouvoir de discrimination temporelle,
- représentatif du signal de parole à long terme,

- non compréhensible : afin d'éviter au sujet testé de confondre le signal test avec le bruit perturbateur qu'est l'OVG,
- écrêté : afin d'éviter une impulsion pouvant gêner le test,
- séparé du signal : permet de mettre en jeu les capacités de l'écoute binaurale (différences d'intensité, de temps, de phase, indices de localisation spatiale) [15].

Ainsi l'OVG est constituée d'un enregistrement de quatre voix : un couple de voix françaises et un couple de voix anglaises, ce qui le rend incompréhensible, avec un pouvoir masquant très important.

3.4. EXPOSITION SONORE : MÉTHODES DE MESURES

Tout sonomètre est capable d'évaluer le niveau de pression acoustique de manière « instantanée », ou plus exactement selon une constante temporelle choisie au préalable en fonction de la nature du bruit mesuré (lent, rapide ou impulsionnel). À ce jour, trois constantes d'intégration sont normalisées :

- Fast (« F ») : $T = 125 \text{ ms}$ (bruit stable ou intermittent),
- Slow (« S ») : $T = 1 \text{ s}$ (bruit stable),
- Impulse (« I ») : $T = 35 \text{ ms}$ (bruit impulsionnel).

Néanmoins, lorsque l'utilisateur souhaite procéder à un mesurage sur une durée longue, il convient d'utiliser une méthode différente : le calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A.

3.4.1. Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A [8a]

Le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A, noté « $L_{Aeq,T}$ », s'applique à un grand nombre d'émissions sonores, fournissant un niveau fluctuant : il donne ainsi un niveau acoustique équivalent sur la durée de mesure choisie. Cette durée pouvant grandement varier (de

quelque secondes à plusieurs heures).

Ce niveau statistique est défini par la formule suivante :

$$L_{Aeq,T} = 10.1g \left[\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt \right]$$

T : durée d'observation

P_A : pression acoustique filtrée par la pondération A

Ce niveau $L_{Aeq,T}$ est fréquemment utilisé en milieu professionnel (industries) pour l'évaluation de l'exposition sonore, lorsque l'on veut savoir par exemple l'exposition engendrée par le fonctionnement d'une machine bruyante dans un atelier sur une certaine durée d'utilisation. Plusieurs appareils peuvent être utilisés, tels que les sonomètres intégrateurs ou encore les exposimètres.

3.4.2. Niveau d'exposition sur une durée effective de travail [8a]

Prenons dans cette sous-partie l'exemple d'un ouvrier en atelier industriel bruyant. Cette personne effectue pendant une durée totale « T_E » plusieurs tâches « T_i » sur des machines différentes, produisant respectivement des niveaux de pression acoustique variables. Si ce temps de travail T_E peut être divisé en p phases de durée T_i exposant à un niveau L_{Aeq,T_i} , le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A durant T_E est donné par la formule :

$$L_{Aeq,TE} = 101g \left(\sum_{i=1}^p (T_i / T_E) \cdot 10^{0.1 \cdot L_{Aeq,T_i}} \right)$$

Cette formule nous permet d'évaluer l'exposition sonore de l'ouvrier, ce dernier étant soumis à des niveaux sonores variables en fonction de la machine utilisée pendant des durées précises. Peuvent être inclus par exemple des temps de pauses lors du travail (arrêt de la machine, déplacement dans l'atelier, discussion entre collègues, etc).

3.4.3. Niveau d'exposition quotidienne au bruit [8a]

Dans l'objectif de se référer aux normes relatives à l'exposition sonore journalière d'un ouvrier en entreprise, on définit le niveau d'exposition quotidienne au bruit comme le niveau d'exposition sur une durée effective de travail valant 8 heures (480 minutes). Cette valeur, notée « $L_{EX,8h}$ » ou encore « $L_{EX,d}$ » (pour le mot « day ») est définie par la formule suivante :

$$L_{EX,8h} = L^*_{Aeq,TE} + 10 \lg \left(\frac{T_E}{T_0} \right)$$

Temps de référence $T_0 = 8$ heures

Si la durée effective de travail T_E lors du mesurage ne vaut pas exactement 8 heures, cette formule nous permet d'introduire une correction logarithmique.

Le sigle « * » est rajouté dans cette formule : $L^*_{Aeq,TE}$ est en réalité l'estimateur du niveau acoustique continu équivalent durant T_E , en incluant l'incertitude de mesure. Cette incertitude est obligatoirement calculée selon les normes pour l'évaluation de l'exposition quotidienne au bruit.

Calcul de l'incertitude :

- D'après les formules vues précédemment, nous savons que :

$$L^*_{Aeq,TE} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^p (T_i / T_E) \cdot 10^{0.1 L^*_{Aeq,Ti}} \right)$$

- Les niveaux équivalents pondérés A de chaque T_i sont variables, on introduit une incertitude de mesurage « U » et l'écart type de ces variations :

$$L^*_{Aeq,Ti} = L_{Aeq,Ti} + U$$

U : incertitude globale

$$L^*_{Aeq,Ti} = \bar{L} + 0,115.S_L^2 + U$$

-L : moyenne arithmétique des N valeurs $L_{Aeq,Ti}$ mesurées en dB(A)

- S_L : écart-type des N valeurs $L_{Aeq,Ti}$ mesurées en dB(A) :

$$S_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (L_{Aeq,Ti} - \bar{L})^2}{N}}$$

- U : incertitude globale en dB(A) :

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2}$$

- U_2 : Incertitude élargie due à l'appareillage de mesure, en dB(A) :

$U_2 = 0,5$ dB pour un appareil de classe 1,

$U_2 = 1,5$ dB pour un appareil de classe 2,

- U_1 : incertitude élargie due à l'échantillonnage de l'exposition, en dB(A)

N°	Écart-type S_L des valeurs mesurées $L_{Aeq,T}$, en dB(A)											
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
5	0,5	1,1	1,9	2,8	4,0	5,4	7,2	9,1	11,4	13,9	16,7	19,8
6	0,4	0,9	1,5	2,3	3,2	4,2	5,5	6,9	8,6	10,4	12,4	14,6
7	0,4	0,8	1,3	2,0	2,7	3,5	4,5	5,7	7,0	8,4	10,0	11,8
8	0,4	0,7	1,2	1,7	2,4	3,1	3,9	4,9	6,0	7,2	8,5	10,0
9	0,3	0,7	1,1	1,6	2,1	2,8	3,5	4,3	5,3	6,3	7,5	8,8
10	0,3	0,6	1,0	1,4	1,9	2,5	3,2	3,9	4,8	5,7	6,7	7,9
12	0,3	0,6	0,9	1,3	1,7	2,2	2,7	3,3	4,0	4,8	5,7	6,6
14	0,2	0,5	0,8	1,1	1,5	1,9	2,4	3,0	3,6	4,2	5,0	5,8
16	0,2	0,5	0,7	1,0	1,4	1,8	2,2	2,7	3,2	3,8	4,5	5,2
18	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	2,0	2,5	2,9	3,5	4,1	4,7
20	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,3	2,7	3,2	3,8	4,3
25	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3	2,7	3,2	3,7
30	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,4	1,7	2,1	2,4	2,8	3,3

Figure 9 : Incertitude élargie U_1 , nombre de jours de mesures en fonction de l'écart-type des N valeurs mesurées [8a]

3.5. LE BRUIT EN MILIEU PROFESSIONNEL : ASPECTS LÉGISLATIFS [16] [17]

La réglementation du bruit en milieu professionnel est vaste et se divise en 3 axes principaux :

- les obligations des fabricants de machines (directive 2006/42/CE) : la machine doit être conçue et construite dans l'objectif que le bruit engendré par son fonctionnement soit le plus bas possible,
- la réglementation des locaux de travail (arrêté du 30 août 1990) : construire des locaux traités s'ils sont susceptibles d'accueillir des machines ou des opérations bruyantes,
- la protection des travailleurs contre le bruit (directive 2003/10/CE, arrêté du 19 juillet 2006) : l'exposition sonore doit demeurer compatible avec la santé des travailleurs, notamment avec la protection de l'ouïe.

Nous allons ici nous intéresser plus particulièrement au troisième axe de la réglementation, c'est-à-dire à la protection des travailleurs en milieu bruyant. En effet, c'est à l'employeur de faire évaluer le risque sonore, de le faire réduire, de protéger ses employés et de réparer d'éventuelles séquelles (surdités professionnelles).

Des seuils d'actions réglementaires ont été définis et s'appuient sur deux paramètres physiques relatifs au bruit auquel le travailleur est exposé :

- le niveau d'exposition quotidienne $L_{EX,8h}$ exprimé en dB(A),
- le niveau acoustique crête $L_{p,C}$ exprimé en dB(C). Ce dernier indique le niveau maximal instantané du bruit. Il est nécessaire de l'ajouter au $L_{EX,8h}$ qui ne prend que trop peu en compte la présence d'un bruit impulsionnel très fort sur 8h de mesures. La pondération C correspondant à la courbe isosonique 100 phons est ainsi utilisée : caractérisant les sons forts, elle apporte moins de correction acoustique par bande d'octave (ou tiers d'octave) que la pondération A, notamment dans les basses fréquences.

L'évaluation du risque du bruit peut s'effectuer par les propres moyens de l'entreprise, par les services de santé au travail ou par un prestataire extérieur.

Suite au mesurage du $L_{EX,8h}$ et du $L_{p,C}$, deux seuils d'actions sont définis et déclenchent des paramètres de prévention obligatoires (par « seuils d'action », il faut comprendre qu'en cas de dépassement du seuil, l'action prescrite s'impose) :

- valeur d'exposition inférieure : $L_{EX,8h} = 80$ dB(A) ou $L_{p,C} = 135$ dB(C). Si un des seuils est atteint, l'employeur se doit de mettre à disposition des EPI (Éléments de Protection Individuelle) adéquats, de former et d'informer sur les risques. Le médecin du travail recevant les résultats peut mettre en place une surveillance audiométrique. Le CHSCT (Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail) est consulté,
- valeur d'exposition supérieure : $L_{EX,8h} = 85$ dB(A) ou $L_{p,C} = 137$ dB(C). Si un des seuils est atteint, le port effectif des EPI est obligatoire, l'employeur doit mettre en place des mesures techniques visant à réduire l'exposition sonore, signaler les zones à risque (liste non-exhaustive).

Outre ces seuils déclenchant une action de prévention, la réglementation définit également une valeur limite d'exposition « VLE » qui ne doit être en aucun cas dépassée, avec port effectif des EPI par les employés exposés : $L_{EX,8h} = 87$ dB(A) ou $L_{p,C} = 140$ dB(C). Au contraire des deux seuils d'actions vus précédemment, la valeur limite d'exposition prend en compte l'atténuation des EPI, ce qui traduit la notion de « bruit effectif ». Si cette VLE est dépassée, l'activité de l'entreprise est arrêtée et l'employeur doit prendre des mesures immédiates pour réduire l'exposition, mettre en place des mesures de prévention et déterminer la cause de cette exposition excessive.

Ces réglementations contre le bruit visent la protection physiologique de l'individu exposé. Le bruit provoque des effets auditifs mais également extra-auditifs, qui seront décrits dans une prochaine partie.

4. COMPRÉHENSION DE LA PAROLE DANS LE BRUIT

Il existe de nombreux modèles traitant sur la faculté psycholinguistique de la perception de la parole dans des conditions silencieuses. La présence de bruit (bruit environnant ou voix concurrentes) empêche un fonctionnement normal de la perception de la parole. Dans cette ambiance de « Cocktail Party » (décrite par Cherry en 1953), le système cognitif humain est capable de surmonter ces difficultés pour se focaliser sur le message d'intérêt. Entrent alors en jeu de nouveaux mécanismes que nous allons énumérer.

4.1. SÉGRÉGATION DES FLUX AUDITIFS [18]

L'écoute de parole en situation de Cocktail Party (ou en présence de bruits environnants) représente pour notre système cognitif une scène auditive : les sons sont mélangés et sommés pour ne former qu'un seul objet auditif. Notre système doit alors analyser ce mélange pour en extraire les propriétés de chaque source individuelle.

À l'arrivée conjointe de deux signaux au niveau du système auditif, deux types de traitements s'offrent à lui. Dans un premier temps, si les signaux analysés sont reconnus comme provenant d'une seule et même source sonore, ils seront fusionnés et traités dans un même flux. Au contraire, on verra apparaître une ségrégation en deux flux auditifs dans le cas où les deux signaux sont analysés comme provenant de sources différentes. Ces deux flux seront traités séparément.

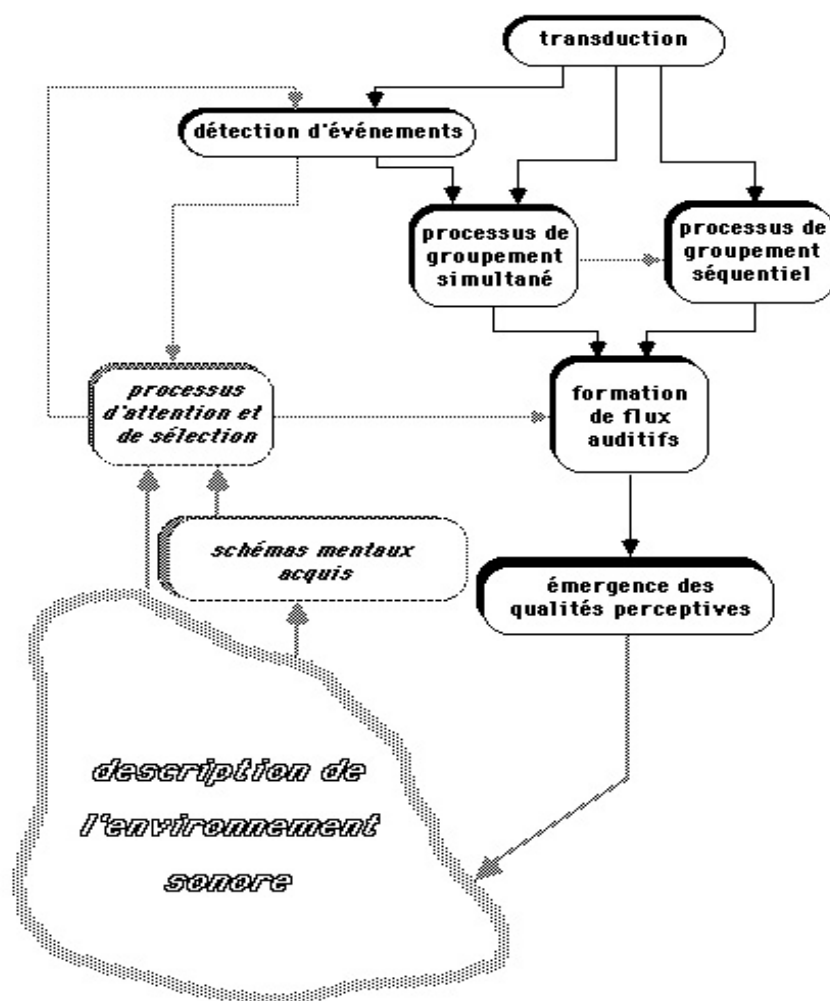


Figure 10 : processus d'analyse en flux auditifs [19]

4.2. INDICES NÉCESSAIRES À LA SÉGRÉGATION DES FLUX

4.2.1. Indices spectraux et temporels

4.2.1.1 Indices spectraux

Les indices spectraux caractérisant un signal sonore jouent un rôle majeur dans la capacité du système auditif à fusionner ou au contraire à séparer en flux auditifs plusieurs signaux sonores captés conjointement.

La capacité de filtrer du système auditif grâce aux bandes critiques aide à distinguer une source sonore d'une autre, lorsque ces sources sont différentes spectralement.

Néanmoins, lorsque les compositions spectrales de deux signaux se chevauchent, cette capacité de séparation ne sera pas suffisante pour différencier les deux sources.

4.2.1.2 Indices temporels [6b]

Bien que jouant un rôle mineur par rapport à l'analyse spectrale, une analyse des indices temporels de la scène auditive est mise en place, pouvant aboutir à un état perceptif de ségrégation et intervenir dans les mécanismes séquentiels de l'analyse en flux auditifs.

Ainsi, deux signaux A et B spectralement identiques mais temporellement différents pourront conduire, dans une séquence « ABA-ABA-ABA... », soit à la perception d'un seul et même flux auditif si les cadences de modulation sont proches, soit à la ségrégation en deux flux auditifs lorsque les cadences de modulation sont espacées.

4.2.2. Indices relatifs au locuteur

La bonne compréhension de l'auditeur face à un message vocal est en partie dépendante du locuteur : de nombreuses caractéristiques vocales sont à prendre en compte, telles que :

- le sexe : une voix masculine présente plus d'énergie qu'une voix féminine. De plus, dans une ambiance de type Cocktail Party, des études (Brungart, 2001) démontrent qu'une voix cible (signal utile) sera plus intelligible dans une ambiance composée de voix du sexe opposé,
- le débit et l'articulation : un débit lent avec une articulation de qualité dans le bruit apportera un gain d'intelligibilité.

4.2.3. Indices relatifs à l'auditeur

Dans une ambiance bruyante, le système auditif perturbé fera appel à d'autres systèmes du corps humain afin de l'aider à comprendre le message vocal utile.

Le positionnement de l'auditeur par rapport au locuteur joue un rôle majeur dans cette aide à la compréhension. En effet, le pouvoir stéréophonique du système auditif permet la localisation spatiale d'une source sonore. Cette localisation s'appuie sur trois axes principaux :

- la différence interaurale de temps (« ITD ») : un azimut différent de 0° ou de 180° de la source sonore induit une différence de distance source-oreille. Ainsi, on observera une différence (très légère) dans les temps d'arrivée du son entre les deux oreilles,
- la différence interaurale de niveau (« ILD ») : ce phénomène est principalement induit par l'effet d'ombre de la tête, cette dernière absorbant une partie de l'énergie acoustique du signal sonore en fonction de l'azimut du son. L'ILD varie en fonction de la longueur d'onde : en sons purs, ses valeurs vont de 3 dB pour 500 Hz jusqu'à 20 dB pour 6 kHz,
- L'effet pavillonnaire : le pouvoir réfléchissant sur les hautes fréquences du pavillon induit la formation de pics et de creux spectraux, variant en fonction de la distance et de l'azimut de la source sonore [20].

En situation bruyante, malgré ce pouvoir de localisation spatiale, il sera plus aisé de comprendre un message vocal si l'auditeur se place en face du locuteur et s'éloigne de(s) source(s) de bruit perturbatrice(s).

Les facultés visuelles de l'auditeur sont également un atout dans la compréhension. En effet, distance et visibilité correctes offrent la possibilité de lecture labiale. Consistant à suivre les mouvements des lèvres du locuteur, la lecture labiale ne permet pas à elle seule la compréhension totale du message vocal. Elle est utilisée de façon inconsciente en présence de bruit, et ses performances diffèrent en fonction de l'individu. La lecture labiale présente des limites : en effet, tous les traits acoustiques ne sont pas visibles sur les lèvres, tels que le voisement, la position de la langue ou encore la nasalité. Les consonnes les plus aidées par cette fusion audition-vision sont les occlusives et les fricatives aiguës [21a].

En corrélation avec les indices visuels, on note la présence de la suppléance mentale. Cette dernière se définit comme une véritable lecture psychique apte à compléter la lecture physique fragmentaire en raison de l'imperfection de l'intelligibilité. Très souvent associée aux personnes déficientes auditives, elle est également utilisée de façon inconsciente dans un environnement où la compréhension est mauvaise. En somme, les personnes normo-entendantes sont également utilisatrices de la suppléance mentale dans des situations bruyantes. Pour fonctionner, la suppléance mentale s'appuie sur des indices linguistiques mais également stylistiques (regard, gestes du locuteur). C'est en quelque sorte un pouvoir d'observation générale de l'auditeur corrélé à une dextérité de son esprit déductif (mémoire de travail), lui permettant d'interpréter et de compléter les informations sonores tronquées arrivant au système auditif. Cette suppléance n'est

évidemment pas parfaite et peut conduire à des erreurs d'interprétation. Elle dépend bien évidemment des connaissances de la langue de l'auditeur [22].

La mémoire, ou plus particulièrement la mémoire de travail, joue un rôle dans la compréhension de la parole dans le bruit. Elle permet de conserver des traces acoustiques, phonétiques, sémantiques ou encore prosodiques du message vocal entendu, afin par la suite de comprendre l'ensemble de l'énoncé. Plusieurs études ont prouvé que la mémoire de travail contrôle l'attention sélective, cette dernière ayant une importance cruciale pour la compréhension dans le bruit (Van der Linden & al., 2002) [23].

4.2.4. Caractéristiques du bruit perturbateur [18]

La nature du bruit perturbateur induit un impact non-négligeable au niveau de la compréhension de l'auditeur. Deux types de masquage peuvent entrer en jeu dans une situation d'écoute en présence de bruit :

- le masquage énergétique : comme décrit précédemment, il est de nature physique et se produit à un niveau périphérique (précisément au niveau de la membrane basilaire de la cochlée, lors de l'analyse fréquentielle). Ce masquage dépend essentiellement de la composition fréquentielle du bruit perturbateur par rapport au signal vocal. On introduit alors une notion de rapport signal sur bruit (« RSB » ou « SNR ») : correspondant à la différence de niveau sonore entre le signal et le bruit, plus le RSB diminue, plus l'intelligibilité est dégradée,
- le masquage informationnel : il résulte de compétitions intervenant à un niveau supérieur. Il reflète le masquage de la parole par un bruit ayant un contenu de nature similaire. En somme, il s'agit du masquage de la parole par de la parole (situation typique de l'ambiance de Cocktail Party). On observe alors une compétition entre les caractéristiques vocales, les informations phonétiques, lexicales et sémantiques du signal vocal utile et des paroles perturbatrices.

Il est nécessaire de rajouter que dans une situation de parole dans la parole, de type signal vocal utile ajouté à une Onde Vocale Globale, les deux types de masquage opèrent, mais l'informationnel domine.

5. NUISANCES PROVOQUÉES PAR LE BRUIT

La fonction primaire de l'ouïe est une fonction d'alerte, relative à la survie du corps. Avec l'évolution, le son et le développement de l'audition permettent aujourd'hui aux Hommes de communiquer. Malgré cela, le bruit en général n'apporte pas que des bienfaits. Des niveaux trop élevés ou une exposition de trop longue durée peuvent avoir des impacts auditifs, mais également extra-auditifs. Dans cette partie, nous allons énumérer ces impacts en nous concentrant sur la base même de ce mémoire, c'est-à-dire la fatigue auditive.

5.1. EFFETS EXTRA-AUDITIFS DU BRUIT [24]

Les effets extra-auditifs biologiques ne sont pas exactement provoqués par la présence de l'énergie acoustique au niveau du système auditif. Ils concernent le stress généré par le bruit sur l'être humain. Bien que multiples, ces effets sont difficilement identifiables car ils peuvent être liés à d'autres éléments stressants que l'exposition au bruit en elle-même. Selon le type d'exposition et la quantité de stress induite, nous pouvons constater les effets suivants (liste non-exhaustive) :

- effets sur le système cardio-vasculaire : production hormonale excessive, augmentation de la tension artérielle, etc,
- troubles du sommeil, entraînant des troubles de l'attention et de la mémoire,
- effets sur la santé mentale : anxiété, agressivité, dépression, etc,
- troubles de la vision.

5.2. EFFETS AUDITIFS DU BRUIT

5.2.1. La surdité [25]

La surdité correspond à une élévation permanente et irréversible du seuil de l'audition. Elle peut généralement apparaître sous deux formes après exposition au bruit :

- apparition lente et progressive : lors d'une exposition prolongée ou répétitive (par exemple travail en atelier industriel bruyant sans port d'éléments de protections individuels)   des bruits de niveaux supérieurs à environ 90 dB(A) (niveaux variables en fonction de la sensibilité de l'individu). La surdité se manifeste tout d'abord par un scotôme audiométrique sur les fréquences aiguës (4 kHz à 6 kHz) qui tend à évoluer en intensité et en fréquences. Dans le classement des surdités professionnelles (tableau 42 des maladies professionnelles), on note quatre stades de surdités : de la surdité latente (scotôme de 30 dB à 4-6 kHz) jusqu'au stade de surdité sévère (où toutes les fréquences peuvent être atteintes),
- apparition brutale : la surdité traumatique a un risque d'apparition après une exposition à des niveaux très élevés, supérieurs 110-120 dB(A) (dépendant de la sensibilité individuelle). Du terme « traumatique » en découle le fait qu'une exposition longue n'est pas nécessaire à l'apparition de cette surdité, il peut s'agir tout simplement d'un bruit impulsionnel (type explosion ou coup de fusil par exemple). Elle se traduit également par un scotôme audiométrique sur les fréquences aiguës,   degré variable.

5.2.2. Les acouphènes [26] [27]

Les acouphènes (subjectifs) correspondent à une perception auditive en l'absence de toute stimulation sonore. Ils peuvent être temporaires ou permanents, de fréquence et d'intensité aléatoires. Ils peuvent provoquer une grande souffrance psychique à l'individu atteint.

L'origine des acouphènes subjectifs est encore mal définie : de nombreuses recherches récentes se penchent sur ce sujet, en découlant plusieurs théories sur le lieu de naissance de ce dérèglement physiologique.

Les acouphènes sont fortement liés à la surdité : en effet, 85% des sujets acouph niques présentent une surdité associée.

L'exposition au bruit, plus ou moins prolongée et à des niveaux plus ou moins élevés amène un risque important d'apparition de surdité et également d'acouphènes.

5.2.3. La fatigue auditive [28] [29] [30]

La fatigue auditive peut se définir comme « la diminution passagère de sensibilité de la fonction de l'audition sous l'influence de l'excitation sonore ».

Cette élévation temporaire du seuil de l'audition, visible à l'audiométrie tonale liminaire, se manifeste après une exposition prolongée à un son d'intensité plus ou moins importante. En effet, il n'est pas nécessaire au son d'être d'une intensité élevée, car la fatigue auditive est à l'origine d'une sur-stimulation chronique : le facteur temps domine sur le facteur intensité.

La fatigue auditive peut paraître abstraite pour la plupart des individus. Pourtant, nous pouvons y faire face à plusieurs reprises dans la vie courante, sans s'en rendre compte. Par exemple, lors d'un long trajet de voiture, le conducteur écoutant de la musique sans interruption va progressivement augmenter le volume pour pouvoir garder la même sensation de niveau sonore. Le lendemain, en prenant la route, il va trouver ce niveau trop élevé et va le réduire : c'est un exemple même de la fatigue auditive, qui disparaît grâce au repos de l'oreille.

5.2.3.1 Physiologie : la fatigue auditive métabolique

La fatigue auditive et le traumatisme sonore sont tous deux des résultats de l'impact du bruit sur l'oreille interne. Néanmoins, il se distinguent par le facteur intensité de ce bruit. Les effets sur l'organe de Corti, au sein de la cochlée se manifesteront au niveau de différentes zones.

Le traumatisme sonore est engendré par une exposition à des bruits de niveaux très élevés (supérieurs à 90 dB(A)), de durée courte ou prolongée. Il provoque au niveau de l'oreille interne des dommages cellulaires. En effet, la puissance acoustique propagée peut provoquer l'arrachement des cellules ciliées externes (CCE), et atteindre également les terminaisons du nerf auditif au contact des cellules ciliées internes et elles-même (CCI). Les images ci-après représentent une vue de surface d'une cochlée de rat avant puis après traumatisme sonore.

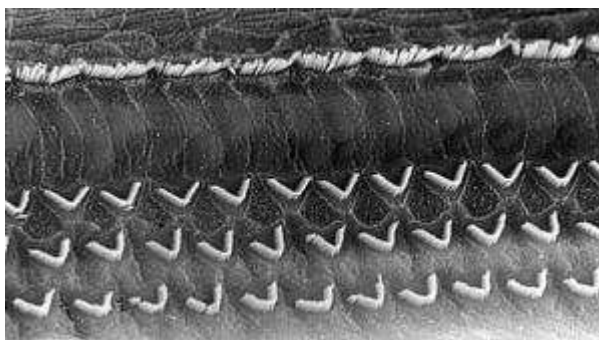


Figure 11 : Vue de surface d'une cochlée de rat saine [30]



Figure 12 : Vue de surface de cette même cochlée après traumatisme sonore [30]

Sur la zone fréquentielle considérée (barycentre spectral du bruit traumatisant), on observe sur la seconde image la perte quasi-totale des CCI et de la première rangée de CCE, tandis que les deuxième et troisième rangées de CCE sont partiellement touchées.

La fatigue auditive métabolique est provoquée par le phénomène d'excitotoxicité glutamatergique. Ce mécanisme atteint les terminaisons dendritiques des fibres nerveuses reliées aux CCI. Il découle de la succession de plusieurs événements :

- la stimulation sonore induit dans la zone fréquentielle considérée une stimulation des CCI, qui elles-même libèrent une certaine quantité de glutamate (neurotransmetteur) dans la fente synaptique,
- le glutamate se fixant à des récepteurs spécifiques au niveau du bouton post-synaptique provoque l'entrée massive d'ions potassiques (K⁺) et sodiques (Na⁺) au sein de la terminaison dendritique,
- l'exposition continue et prolongée au bruit, au niveau des mêmes corps cellulaires, conduit à une hyper-concentration de ces ions dans la terminaison dendritique. Par osmose, dans le but de réduire cette hyper-concentration, des molécules d'eau pénètrent dans la cellule nerveuse sous forme de vacuoles, ce qui conduit à un silence synaptique : la cellule nerveuse ne peut émettre de potentiel d'action et convertir le message sonore en

message électrique.

Suite au silence synaptique, deux situations sont à prendre en compte :

- Si l'exposition au bruit s'arrête (repos de l'oreille), l'hyper-concentration en ions K^+ et Na^+ diminue progressivement, les vacuoles s'estompent et l'activité synaptique pourra reprendre,
- Si l'exposition au bruit continue, elle peut provoquer un éclatement de la synapse : le choc excitotoxique.

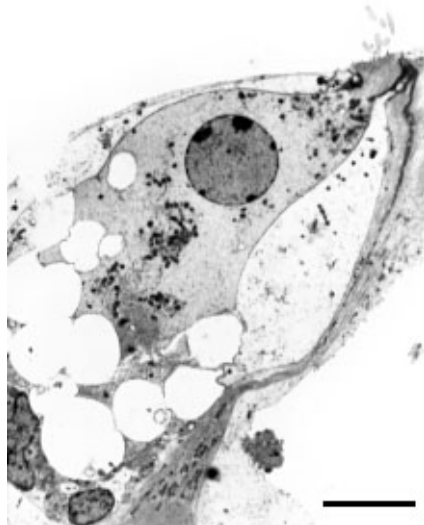


Figure 13 : choc excitotoxique [30]

Les vacuoles sont nettement visibles sur l'image ci-dessus. En théorie, la synapse est capable de se reconstruire et de fonctionner de nouveau normalement au bout de 3 à 5 jours. Néanmoins, il est possible à la suite d'épisodes critiques répétés que la reconstruction ne se produise plus, ce qui, à long terme, peut être à l'origine d'autres pathologies, tels que la presbycusie de type neuronale.

Les zones fréquentielles atteintes par la fatigue auditive sont les aigus, qui sont localisés à la base de la cochlée et composent fréquemment les bruits de nature agressive.

Néanmoins, si l'on prend l'exemple de l'exposition prolongée de l'oreille à un son pur de 4 kHz, la fatigue auditive se manifestera sur la zone fréquentielle 6-8 kHz : en effet, elle apparaîtra une demi voire une octave supérieure à la fréquence du son. Cette particularité s'explique par la capacité de codage fréquentiel de l'organe de Corti : bien que le phénomène actif rapide (contraction et allongement des CCE au point de résonance) se définit sur la zone fréquentielle

même correspondant à la fréquence stimulante, il est limité à 60 dB SPL et n'affecte pas les cellules ciliées. Or, le phénomène passif (tonotopie cochléaire) n'a pas de limite : son maximum d'amplitude se trouvera toujours une demi ou une octave supérieure au pic du phénomène actif, c'est ainsi cette zone fréquentielle qui sera le plus souvent atteinte.

5.2.3.2 Impacts de la fatigue auditive

La fatigue auditive provoque une élévation temporaire du seuil d'audition. L'impact se trouve au niveau périphérique de l'ouïe, c'est-à-dire le trajet entre le pavillon auriculaire et les centres nerveux auditifs. Plus précisément, comme nous l'avons vu précédemment, ce sont les synapses, reliant les CCI avec les fibres afférentes auditives qui sont atteintes.

Cette élévation temporaire de seuil est visible à l'audiométrie tonale liminaire. En décembre 2014, l'INRS de Nancy, en corrélation avec l'Hôpital Central, publie une étude de la mesure de la fatigue auditive périphérique. Cette étude vise à déterminer, sur une population de travailleurs en milieu industriel ($L_{EX,8h} = 85$ dB(A)), l'élévation des seuils auditifs en utilisant des examens subjectifs et objectifs : l'audiométrie tonale liminaire et l'EchoScan Audio.

L'EchoScan audio est un outil permettant de mesurer objectivement l'audition par le biais de deux examens : les produits de distorsion (PDA) et la mesure du réflexe efférent (regroupe les réflexes stapédien et olivocochléaire).

Cette étude a permis de montrer l'existence d'une perte auditive après la journée de travail d'environ 3 dB sur les fréquences 3 kHz et 4 kHz en audiométrie tonale liminaire, et également une perte de 9 dB en mesures objectives avec EchoScan Audio. Ces résultats permettent de prouver et de quantifier la déficience auditive périphérique, mais aussi de montrer l'importance de l'objectivité dans des examens à critères de précision importants [31].

6. AUDIOMÉTRIE VOCALE DANS LE BRUIT, SPAN TEST ET TEST ANL

Dans ce chapitre seront présentés uniquement les tests relatifs à la partie expérimentale de ce mémoire : de leur origine respective à leur intérêt, en passant par leur mode de passation, le matériel vocal utilisé, la représentation des résultats, leurs limites ...

Nous débuterons par la présentation des deux logiciels avec lesquels ces tests ont pu être réalisés :

- le logiciel BioSoundSystem 3.0 de Y. Lasry,
- le logiciel Distorsions de Y. Lasry.

6.1. SUPPORT INFORMATIQUE : BIOSOUNDSYSTEM 3.0 ET DISTORSIONS

6.1.1. *BioSoundSystem 3.0 [32]*

BioSoundSystem, développé par Yves Lasry, audioprothésiste diplômé d'état exerçant à Nantes, est une solution logicielle de tests destinée aux mesures audioprothétiques. Actuellement commercialisé en version 3.0, ce logiciel simple d'utilisation offre de multiples possibilités d'examens à son possesseur :

- audiométrie tonale en champ libre et au casque,
- audiométrie vocale dans le silence et dans le bruit,
- simulation d'ambiances sonores,
- procédure APA (Affinement Post Appareillage) de Dodelé,
- Test ANL (Acceptable Noise Level) de Nabelek.

L'intérêt majeur de ce logiciel est son utilisation couplée avec un réseau de haut-parleurs de type 5.1 : il est ainsi possible d'établir des mesures audiométriques et de contrôle audioprothétique en champ libre multidirectionnelles. Grâce à un gestionnaire multi haut-parleurs, il est possible de dissocier les deux pistes d'un fichier stéréo, et de repositionner librement chacune d'elles à l'intensité souhaitée.

Le BioSoundSystem 3.0 possède une multitude de fichiers sonores et est capable d'en diffuser jusqu'à 18 simultanément. Concernant l'audiométrie vocale (dans le silence ou dans le bruit), la grande majorité des listes vocales utilisées couramment en audioprothèse sont présentes, telles que :

- les listes monosyllabiques et dissyllabiques de Fournier,
- les listes de phrases de Combescure,
- les listes cochléaires, de recrutement, de balayage, d'intégration de Lafon,
- les listes de netteté et fréquentielles de Dupret,
- des listes de nombres.

Son interface, simple d'utilisation, permet de contrôler le test en cours tout en ayant une visualisation de l'audiométrie tonale du patient, du graphique de résultats, de la configuration audio des pistes diffusées par les haut-parleurs.



Figure 14 : logo du logiciel BioSoundSystem 3.0 [33]

6.1.2. Distorsions [34]

Distorsions, également développé par Yves Lasry, à la demande du Collège National d'Audioprothèse, est un logiciel regroupant un ensemble de tests permettant la mise en évidence de distorsions de la sensation d'intensité, de distorsions fréquentielles ou temporelles. Il regroupe des tests tels que :

- test de LUSCHER et ZWILOCKI,
- SISI Test de JERGER,
- test de FOWLER,
- test de REGER,
- test de LANGENBECK,
- test de BRUINE-ALTES,
- l'audiométrie automatique de Békésy,
- test de discrimination temporelle,
- SPAN test,
- TONE DECAY test.

Ces tests peuvent être réalisés au casque ou en champ libre au moyen du matériel adéquat. Il est actuellement commercialisé par le Collège National d'Audioprothèse. Son interface simple d'utilisation, permet à l'audioprothésiste d'effectuer un nombre important de tests de distorsions rarement disponibles avec d'autres outils.



Figure 15 : logo du logiciel Distorsions [34]

6.2. AUDIOMÉTRIE VOCALE

Pour évaluer l'audition d'un individu, le test basique utilisé par le médecin ORL, l'audioprothésiste ou encore l'audiométriste est l'audiométrie. Cette dernière est composée de deux principaux tests : l'audiométrie tonale et l'audiométrie vocale.

L'audiométrie tonale, dite « liminaire », vise à déterminer à chaque octave l'intensité minimale en dB HL (« Hearing Level ») perçue par le sujet. Elle s'effectue au casque normalisé (de type TDH-39) ou encore en champ libre grâce à un ou plusieurs haut-parleurs calibrés. Deux seuils sont explorés pour chaque oreille : le seuil en conduction aérienne et le seuil en conduction osseuse (au moyen d'un vibreur spécifique). La gamme de fréquences testées s'étend généralement de 125 Hz à 8 kHz en conduction aérienne par bande d'octave (plus ou moins en intégrant des fréquences intermédiaires) et de 250 Hz à 4 kHz en conduction osseuse (bande passante limitée du vibreur).

L'audiométrie tonale liminaire détermine le seuil subjectif de l'audition généralement par des sons purs (pulsés ou wobulés) : on obtiendra alors des seuils physiologiques. Afin de compléter ces seuils, la pratique de l'audiométrie vocale offre une évaluation de la compréhension de l'individu, ce qui permet de lier audition périphérique et fonctions cognitives. En effet, pour de nombreux praticiens, il est nécessaire d'allier sensibilité de l'oreille et intelligibilité de la parole.

6.2.1. Définition [21b]

On définit l'audiométrie vocale comme l'évaluation de l'intelligibilité d'un individu face à des stimuli de nature vocale. Concrètement, elle permet d'évaluer les capacités du sujet à comprendre la parole.

Au contraire de l'audiométrie tonale, cette épreuve dépasse le cadre simplement physique de l'audition périphérique, et fait entrer en jeu des mécanismes de communications tels que l'audition, la lecture labiale, la connaissance de la langue, l'attention, la suppléance mentale.

L'audiométrie vocale met en évidence la valeur sociale de l'audition, ce qui lui confère de multiples intérêts : pour confirmer le diagnostic de l'état auditif du patient, pour évaluer l'influence

sociale du déficit et enfin pour quantifier le bénéfice d'un appareillage audioprothétique.

De nombreux tests d'audiométrie vocale existent pour de nombreuses applications, des plus courants aux plus spécifiques.

6.2.2. *Matériel*

6.2.2.1 Matériel métrologique

L'audiométrie vocale doit impérativement se dérouler dans une cabine audiométrique, où dans une salle traitée acoustiquement dans le but d'y accueillir des mesures audioprothétiques. Cette salle a pour but d'éliminer une éventuelle interférence de bruits extérieurs sur la précision des mesures (effet de masque par exemple). Selon la législation en vigueur, une cabine audiométrique doit posséder un volume minimum de 15m³, un niveau de bruit de fond inférieur à 40 dB(A) et un temps de réverbération inférieur à 0,5 seconde à l'octave 500 Hz.

Afin de permettre la diffusion du matériel vocal jusqu'aux oreilles de l'individu, un audiomètre vocal bi-canal est utilisé. Il est ainsi possible d'émettre simultanément à des intensités déterminées les signaux amplifiés de la parole et un bruit d'assourdissement si nécessaire pour l'oreille controlatérale.

Le matériel vocal nécessaire aux tests est disponible en CD, ou directement en format numérique. Il est enregistré, ce qui permet d'éviter des fluctuations de niveaux sonores trop importantes, des variations relatives à la voix du locuteur (articulation, qualité de la voix...).

6.2.2.2 Matériel vocal

L'audiométrie vocale s'effectue au moyen de matériel phonétique sous forme de listes diverses, telles que :

- des listes monosyllabiques,
- des listes dissyllabiques,
- des listes de logatomes (mots sans signification),
- des listes de phrases.

En fonction des différents tests, l'unité varie : le mot, le phonème, le trait acoustique...

6.2.3. Les listes de mots dissyllabiques de Fournier : matériel vocal utilisé dans l'expérimentation [35]

Créées par J.E. Fournier, ces listes sont au nombre de 40 et comportent chacune 10 mots signifiants et fréquemment utilisés dans le vocabulaire courant. Comme leur nom l'indique, chaque mot est composé de deux syllabes.

Les listes dissyllabiques de Fournier doivent remplir certaines conditions :

- tous les phonèmes dont se compose le langage parlé doivent être représentés,
- les différents phonèmes doivent se trouver dans la même proportion que dans le langage parlé,
- la difficulté moyenne de chaque liste doit être constante. De plus, la répartition selon leur caractère « facile » ou « difficile » doit être la même dans toutes les listes.

Lors de la création de ces listes, J.E. Fournier se rend compte que certains critères sont plus difficiles que d'autres à remplir. En effet, pour des listes de mots signifiants, l'application des deux dernières conditions (citées précédemment) conduirait à des listes trop longues et trop peu nombreuses. Afin de diminuer ce problème, et tenter d'égaliser du mieux possible la difficulté, les listes se composent uniquement de mots masculins terminés par un son de voyelle (différent du « e » muet).

6.2.4. Principe de l'audiométrie vocale dans le silence [36]

Malgré le fait que l'audiométrie vocale dans le silence n'est pas utilisée dans la partie expérimentale, il est tout de même nécessaire de la présenter car elle est à l'origine de l'audiométrie vocale dans le bruit.

Dans le monde de l'audioprothèse française, le test d'intelligibilité de Fournier à l'aide des listes dissyllabiques reste l'épreuve la plus couramment utilisée. Il se déroule à la suite de l'audiométrie tonale liminaire, le plus souvent au casque (oreilles séparées) mais il est possible de

diffuser les listes en champ libre.

Après avoir expliqué les différents consignes au sujet, le testeur débute par une liste à une intensité confortable par rapport aux seuils d'audiométrie tonale mesurés auparavant, dans le but de chercher le maximum d'intelligibilité du patient. À chaque écoute d'un mot, le sujet doit répéter le terme qu'il a entendu. L'unité de ce test est le mot correctement répété. Le testeur réduit par la suite l'intensité de chaque liste (par pas de 5 dB) jusqu'à arriver à un résultat nul sur une liste entière.

Les résultats sont reportés sur le graphique suivant :

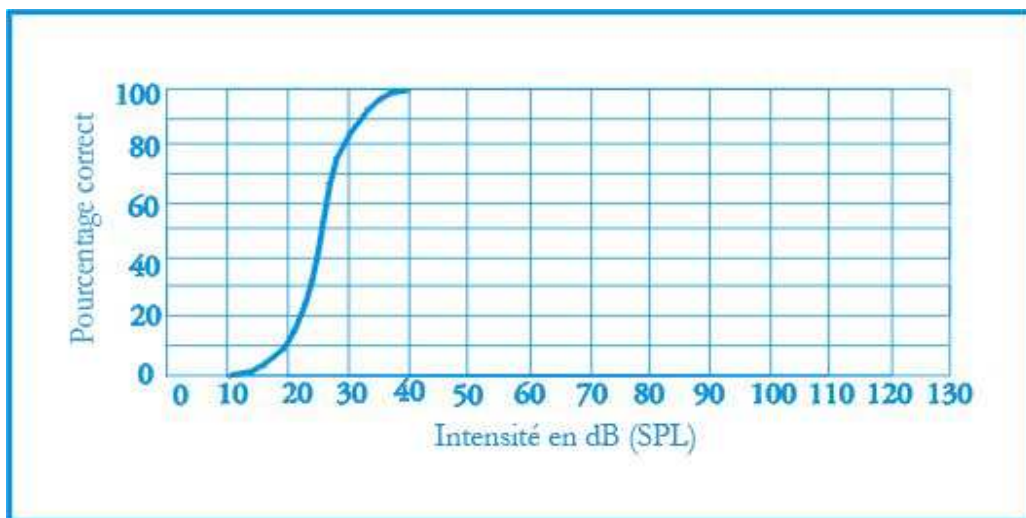


Figure 16 : graphique de notation des résultats de l'audiométrie vocale dans le silence [37]

Dans le graphique ci-dessus sont annotés les résultats en pourcentage ou nombre de mots répétés de chaque liste, au moyen d'une charte graphique bien définie.

Les points remarquables de l'audiométrie vocale dans le silence sont :

- le seuil maximum d'intelligibilité, qui correspond à l'intensité à laquelle le score maximal a été établi,
- le seuil d'intelligibilité, qui correspond à l'intensité à laquelle la moitié des mots ont été correctement répétés,
- la pente de la courbe : son allure donne des indices sur les troubles auditifs dont peut souffrir le sujet testé.

L'audiométrie vocale dans le bruit se base sur le principe de l'audiométrie vocale dans le silence, mais utilise une représentation graphique différente et étudie d'autres aspects de la compréhension du système auditif.

6.2.5. Audiométrie vocale dans le bruit [6c]

L'audiométrie vocale dans le bruit est nécessaire afin de combler les limites de l'audiométrie vocale dans le silence. Dans certains pays, cet examen semble être utilisé fréquemment depuis de nombreuses années. Néanmoins, en France, ce n'est pas vraiment le cas, car peu de tests vocaux dans le bruit sont listés à ce jour :

- l'audiométrie verbo-fréquentielle en présence de bruit calibré noté « AVfB » de L. Dodelé (1999),
- le test d'intelligibilité dans le bruit de P. Elbaz, F. Leca, P. Miller et J.M. Fiaux (1992).

Aucun de ces tests n'ont été utilisés dans la partie expérimentale de ce mémoire. Nous allons voir par la suite quel examen a été choisi.

6.2.5.1 Matériel

6.2.5.1.1 Matériel métrologique

L'examen d'audiométrie vocale dans le bruit peut s'effectuer au casque, mais également en champ libre. Le champ libre sera utilisé dans ce mémoire, dans l'objectif de ne pas parasiter les signaux émis par les haut-parleurs.

Le sujet testé, placé au centre du réseau de haut-parleurs, sera soumis au bruit perturbateur provenant de quatre azimuts simultanément : 45°, 135°, 225° et 315°.

Le signal vocal utile sera diffusé par le haut-parleur en face du patient, c'est-à-dire à l'azimut 0°.

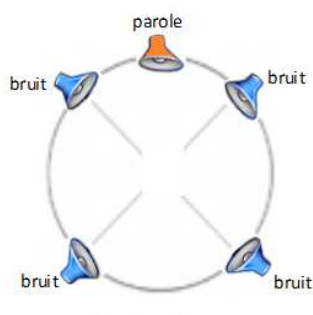


Figure 17 : Disposition des haut-parleurs lors de l'audiométrie vocale dans le bruit, sujet au centre

La configuration requise sur BioSoundSystem pour obtenir un tel réglage de diffusion sonore est la suivante :



Figure 18 : Configuration des haut-parleurs pour l'audiométrie vocale dans le bruit, BioSoundSystem 3.0

Dans la capture d'écran ci-dessus, nous pouvons observer deux arcs de cercles en surbrillance :

- l'arc de cercle bleu représente la piste 1, c'est-à-dire le signal vocal, sélectionné sur le haut-parleur à l'azimut 0°,
- l'arc de cercle rouge représente la piste 2, correspondant au bruit perturbateur, diffusé sur les quatre autres haut-parleurs.

Les curseurs visibles à gauche et à droite permettent de régler l'intensité de diffusion de chaque piste en dB SPL.

6.2.5.1.2 Matériel sonore

En audiométrie vocale dans le bruit, l'ensemble du matériel phonétique destiné à l'audiométrie vocale dans le silence peut être utilisé, que ce soit des mots signifiants, des logatomes ou des phrases.

Dans ce mémoire, nous avons choisi d'utiliser comme signal vocal de test les listes dissyllabiques de Fournier, à raison de trois listes par mesure.

Au niveau du bruit perturbateur, l'Onde Vocale Globale de Dodelé a été retenue, pour ses caractéristiques très proches de la réalité de la parole, décrites dans un chapitre précédent.

6.2.5.2 Passation

Contrairement à l'examen dans le silence, deux niveaux sonores entrent en jeu dans l'audiométrie vocale dans le bruit : le niveau du signal vocal et le niveau du bruit perturbateur. On introduit alors une notion de rapport signal sur bruit « RSB ».

Naturellement, deux techniques s'offrent au testeur :

- faire varier le RSB en augmentant ou diminuant progressivement le niveau du signal vocal, en conservant le niveau du bruit perturbateur fixe,
- faire varier le RSB en augmentant ou diminuant progressivement le niveau du bruit perturbateur, en conservant le niveau du signal vocal fixe.

La seconde méthode sera choisie dans l'expérimentation, car elle se rapproche plus de la réalité : en effet, en situation de la vie courante, le niveau de bruit environnant ne peut pas être directement contrôlé par le locuteur. Nous ferons donc varier l'OVG et ainsi le RSB par pas de 3 dB par rapport au niveau sonore de la liste dissyllabique de Fournier sélectionnée à un niveau fixe de 65 dB SPL. Ce niveau a été choisi car il représente la valeur moyenne de la voix en conversation normale.

Par examen, le sujet testé sera soumis successivement à trois listes dissyllabiques de Fournier, à trois RSB différents : -3 dB, 0 dB et +3 dB.

En s'intéressant aux courbes de références pour normo-entendant concernant l'audiométrie vocale dans le bruit avec des listes dissyllabiques de Fournier [6], on remarque que le score par liste est inférieur à 50 % à partir d'un RSB de -2 dB (bruit perturbateur supérieur de 2 dB au signal vocal). Le score de 90 % est obtenu pour un RSB valant +4 dB. Nous avons donc délibérément choisi de fixer la limite des RSB pour l'expérimentation à -3 dB et +3 dB, compte tenu du paramètre temps de mesure dont nous disposons (ce sujet sera abordé plus tard).

6.2.5.3 Représentation graphique

Les résultats de l'audiométrie vocale dans le bruit sont reportés sur un graphique prenant en compte le pourcentage de réponses correctes par liste en fonction du RSB.

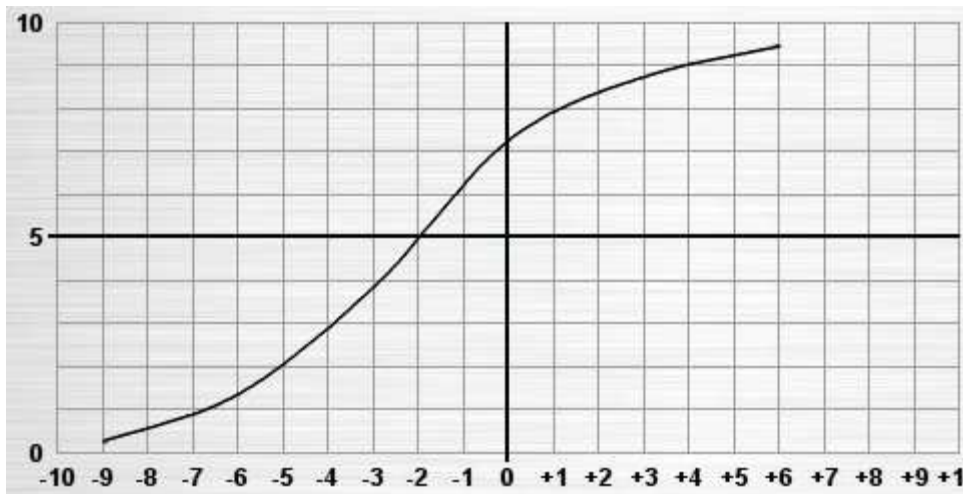


Figure 19 : graphique de notation des résultats de l'audiométrie vocale dans le bruit

Bien que ressemblant au graphique de notation de l'audiométrie vocale dans le silence, celui-ci a été adapté à la situation d'ambiance bruyante dans laquelle le sujet est soumis. La notation du RSB en abscisse permet ainsi de regrouper les deux niveaux sonores importants de l'examen (niveaux du bruit perturbateur et du signal vocal). Le principe de score reporté en ordonnée ne change pas.

Les valeurs remarquables de l'audiométrie vocale dans le bruit sont :

- le seuil de reconnaissance vocale (SRV ou SRT) : cette mesure psychoacoustique est utilisée pour quantifier l'intelligibilité dans le bruit. Ce niveau correspond au RSB permettant d'atteindre un score d'intelligibilité de 50%. Par analogie à l'audiométrie vocale dans le silence, cela correspond au seuil d'intelligibilité. Malgré tout, il ne faut pas comparer le seuil de reconnaissance vocale avec le seuil d'intelligibilité, mais plutôt avec les valeurs de référence établies chez le normo-entendant,
- la pente de la courbe, qui correspond à l'angle formé avec l'axe des 50 %,
- le maximum d'intelligibilité, correspondant au score maximal atteint au niveau de la courbe.

6.2.5.4 Intérêts de l'audiométrie vocale dans le bruit

Les intérêts de l'audiométrie vocale dans le bruit sont multiples et viennent combler certaines limites de l'audiométrie vocale dans le silence. Ils sont essentiellement portés vers la réhabilitation prothétique, car à ce jour, les nouvelles technologies numériques ont permis une avancée très importante dans le domaine de la compréhension en milieu bruyant.

Cet examen permet à l'audioprothésiste par exemple de pouvoir comparer les bénéfices de technologies variant en gamme et de présenter ces résultats au patient, de comparer différents réglages dans des situations bruyantes identiques, d'informer le patient d'éventuelles limites de l'appareillage...

Hormis l'aspect audioprothétique, cet examen nous permet également d'objectiver des pertes difficilement visibles en audiométrie vocale dans le silence, telles que les pertes légères, ou encore un problème de plasticité cérébrale annonçant les prémices de la presbycusie. En effet, l'exposition prolongée et répétée au bruit entraîne une compensation du système nerveux auditif central (phénomènes d'up-regulation et de down-regulation) jusqu'à épuisement de cette plasticité [38].

6.2.5.5 Limites de l'audiométrie vocale dans le bruit

Plusieurs limites conduisent à constater que cet examen n'est pas encore considéré comme une épreuve de routine en audiométrie d'exploration ou en réhabilitation audioprothétique.

En effet, la nature du bruit perturbateur utilisé, si par exemple le bruit blanc est choisi, peut être vue comme non-représentative de la réalité. Il est donc vivement conseillé de choisir un bruit de type Cocktail Party ou l'Onde Vocale Globale.

Le signal vocal sélectionné peut également avoir des limites, comme par exemple les listes dissyllabiques de Fournier possédant des différences inter-listes reconnues. L'utilisation de listes de logatomes, ceux-ci n'ayant pas de signification, peut être considérée comme non-représentative de la réalité et amener des résultats plus sévères que pour des termes signifiants.

Pour finir, une hypothèse peut être émise sur le caractère stressant de cet examen. En effet, certains sujets sont confrontés aux difficultés rencontrées au quotidien et peuvent ressentir un état d'angoisse pouvant altérer leur attention.

6.3. SPAN TEST

Le SPAN test correspond à une évaluation de la capacité de mémoire de travail de l'individu testé.

À l'origine, cet examen a été développé dans les années 1980 par Daneman et Carpenter, sous le nom de « Reading SPAN Test ». Son principe est de présenter au sujet des phrases non-relées sémantiquement, qu'il doit lire à voix haute et dont il doit mémoriser le dernier mot, qui est différent de phrases en phrases. Le rappel des mots a lieu dès la lecture de la dernière phrase. Pour le sujet testé, l'objectif est d'augmenter progressivement le nombre de phrases lues, et donc de se souvenir d'un maximum de mots [39].

Au fil du temps, le Reading SPAN Test a été décliné sous plusieurs formes, dont celle utilisée dans ce mémoire : le SPAN test sous forme de séries de chiffres. Uniquement cette dernière version sera décrite dans les paragraphes suivants.

6.3.1. Matériel

Dans notre expérimentation, le SPAN test faisant immédiatement suite à l'audiométrie vocale dans le bruit, le matériel métrologique utilisé est :

- le système de haut-parleurs 5.1, délivrant uniquement le signal sonore, en absence de bruit perturbateur,
- le logiciel Distorsions (décrit précédemment). Il faut savoir que le SPAN Test version chiffres est disponible sur le logiciel BioSoundSystem, mais Distorsions a été préféré à celui-ci pour des raisons de simplicité d'utilisation.

Le matériel phonétique utilisé est donc des séries de chiffres, celles-ci variant de 3 à 8 chiffres par série. Sur le logiciel Distorsions, deux listes de chiffres sont disponibles par nombre d'items contenus (c'est-à-dire deux séries de 3 chiffres, deux séries de 4 chiffres, etc). Il est à noter que chaque chiffre n'est présent qu'une seule fois dans une série.

6.3.2. Passation

Comme pour l'audiométrie vocale dans le bruit, le sujet testé se trouve au centre du réseau de haut-parleurs. Les séries de chiffres sont diffusées par les haut-parleurs de façon simultanée à une intensité confortable de 65 dB SPL.

L'examen débute par une première série de 3 chiffres. Celle-ci est débitée de façon lente, afin que le sujet puisse tout mémoriser. Dès la fin de la série, le sujet doit répéter correctement la série écoutée. Les règles du test sont les suivantes :

- si le sujet répond correctement à la série, celle-ci est validée et l'on passe directement à une série supérieure (exemple : de 3 chiffres à 4 chiffres),
- si le sujet commet une erreur en répétant la série, un deuxième essai s'offre à lui, par le biais de la seconde liste de même rang disponible sur le logiciel,
- le test se termine lorsque deux erreurs sont commises de suite sur des séries de même difficulté.

Le score correspond au nombre de chiffres contenus dans la dernière série correctement répétée : par exemple, si le sujet se trompe deux fois de suite à la difficulté de 8 chiffres, son score final sera de 7. Le score sera reporté de manière manuscrite.

6.3.3. Interprétation des résultats

Dans ce mémoire, le but de ce test est de comparer les capacités cérébrales des sujets en procédant à la méthode « avant-après ». Le principe est donc de voir si le score atteint avant sera plus ou moins élevé que le score après un événement déterminé, et ainsi évaluer l'affection de cet événement au niveau central. Le score moyen obtenu à cet examen pour un adulte est compris entre 5 et 9.

En réalité, le SPAN Test de chiffres ou encore le Reading SPAN Test possèdent de nombreux autres objectifs, ces derniers n'étant pas réellement particuliers à l'audioprothèse ou à l'évaluation de l'audition, à part à la bonne compréhension de la série écoutée. L'interprétation de ces tests ressort plutôt du domaine de la psychologie.

6.3.4. Intérêts

L'intérêt de l'utilisation du SPAN Test de chiffres dans notre expérimentation est d'ajouter un aspect cérébral central à l'évaluation de l'audition (périphérique et centrale).

Le SPAN Test étudie directement le fonctionnement de la mémoire de travail de l'individu testé, qui sera nourrie ici, par des stimuli de nature sonore.

6.3.5. Limites

Il existe néanmoins plusieurs limites au SPAN Test de chiffres, qu'il soit utilisé via Distorsions ou BioSoundSystem :

- deux séries disponibles en fonction du niveau de difficulté reste un nombre faible. En effet, si le testeur souhaite réaliser un test « avant-après », il est probable que la mémoire à long terme du sujet entre en jeu et puisse influencer la répétition d'une liste qui, par exemple, aurait déjà été entendue auparavant,
- une certaine notion d'entraînement pourrait également fausser deux tests établis à des moments différents. Le premier examen peut paraître plus compliqué lorsque l'on vient à peine de comprendre le principe. Une deuxième séance peut être plus facilement réussie grâce à l'entraînement.

6.4. TEST ANL (ACCEPTABLE NOISE LEVEL) [14B]

Cet examen découle d'une hypothèse émise en 1991 par le Docteur Nabelek : la capacité à supporter le bruit lorsque l'on écoute une conversation peut être prédictive de l'utilisation des aides auditives. Dans cet objectif de prédiction, le docteur met en place ce test : l'Acceptable Noise Level.

En 2013, madame Claire Ploquin, audioprothésiste D.E., soutient un mémoire ayant pour but la validation de cet examen, disponible sur le logiciel BioSoundSystem. Notre partie théorique et l'utilisation de ce test sont basés sur les expérimentations de madame Ploquin [14].

Le test ANL, d'abord étudié afin de mesurer la quantité de bruit de fond acceptable par un patient lorsqu'il écoute une personne parler, peut être également utilisé pour une visée audioprothétique, afin de prévoir des réglages.

6.4.1. Matériel

Utilisé dans la seconde partie de nos expérimentations, le test ANL se déroule à la suite de l'audiométrie vocale dans le bruit et du SPAN test.

Le matériel métrologique est le suivant :

- le système de hauts-parleurs 5.1, délivrant 2 signaux conjointement (bruit perturbateur et signal vocal), uniquement sur le haut-parleur central (azimut 0°),
- le logiciel BioSoundSystem 3.0, sur lequel le test ANL est disponible.

Le matériel sonore est donc composé de deux signaux :

- le signal vocal utile, diffusé à l'azimut 0°, correspond à une voix féminine récitant le poème de Charles Perrault nommé : « Riquet à la houppe »,
- le bruit perturbateur, correspond à l'Onde Vocale Globale de Dodelé, toujours pour ces propriétés se rapprochant sensiblement à du signal de parole, incompréhensible.



Figure 20 : Utilisation des haut-parleurs pour le test ANL, logiciel BioSoundSystem 3.0

6.4.2. Passation

6.4.2.1 Passation générale

En règle générale, cet examen se déroule, avec ou sans port d'aides auditives, de la manière suivante :

- détermination du MCL (Most Comfortable Level), sans bruit perturbateur. Le signal vocal utile est réglé progressivement par le testeur, via l'appréciation du patient, jusqu'à obtenir un niveau le plus confortable possible,
- détermination du BNL (Background Noise Level), signal vocal utile et bruit perturbateur ensemble. Il s'agit d'augmenter le niveau de bruit perturbateur progressivement jusqu'au moment où l'individu testé ne comprend plus l'histoire.

Le score ANL, exprimé en dB, correspond ainsi à un rapport signal sur bruit, car il est calculé comme la différence entre MCL et BNL :

$$\mathbf{ANL = MCL - BNL}$$

6.4.2.2 Passation modifiée pour l'expérimentation

Par manque de temps afin de réaliser les expérimentations, et également par faute d'intérêt envers la valeur MCL de chaque sujet testé, nous avons décidé de remplacer cette première étape par une valeur fixe de signal vocal utile : 65 dB SPL, qui correspond au niveau moyen de la parole conversationnelle.

Nous procédons ensuite de façon normale à la détermination du BNL, et donc au calcul du score ANL.

Cet examen sera mis en place à deux reprises par individu testé, de manière « avant-après » un événement déterminé, afin de comparer la possible évolution du score ANL suite à cet événement.

6.4.3. Intérêts

La réalisation de cet examen a plusieurs buts, dépendants du contexte de son utilisation :

- une utilisation clinique,
- une utilisation à visée audioprothétique concernant la prédiction de la réussite d'appareillage (prédiction du temps de port moyen des appareils auditifs en fonction de l'ANL d'un patient, aides aux réglages concernant les performances face au bruit, etc).

Dans ce mémoire, notre objectif sera différent : il consiste à vérifier si l'individu testé supporte le même niveau de bruit ou non dans le cadre du test, suite à une exposition sonore prolongée (de durée et d'intensité choisies).

6.4.4. Limites

Néanmoins, deux limites peuvent être considérées dans ce test :

- le caractère subjectif de l'examen. En effet, l'évaluation du MCL et du BNL ne peuvent se faire sans le ressenti personnel du patient. Une mesure subjective comporte toujours un risque de variabilité,
- la nature du signal vocal utile : un seul signal de parole est disponible. On ne peut valider l'utilisation du test ANL qu'uniquement sur une voix, féminine. L'expérimentation avec un texte récité par une voix masculine pourrait peut être changer le score (composition spectrale différente).

PARTIE EXPERIMENTALE

7. ORIGINE DE L'ÉTUDE ET PREMIÈRE EXPÉRIMENTATION

7.1. INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUES

7.1.1. *Origine de l'étude*

Conjointement, deux organismes de la ville de Nancy sont à l'origine de cette étude : L'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) ainsi que le service ORL de l'Hôpital Central.

Ce nouveau protocole fait suite à une recherche publiée en décembre 2014 : « La mesure de la fatigue auditive par EchoScan Audio » [31].

Des résultats ont été validés concernant la déficience auditive en audiométrie tonale liminaire ainsi qu'en mesures objectives via l'EchoScan Audio.

Souhaitant orienter la recherche vers de nouvelles problématiques, l'équipe réunissant deux organismes s'est tournée vers une population étant exposée quotidiennement au bruit : les assistants de régulation médicale du SAMU de l'Hôpital Central, travaillant sous casque téléphonique. Leur travail consiste à répondre aux multiples appels de particuliers lorsqu'ils composent le numéro d'urgence « 15 ». Les plaintes ayant permis à l'équipe de s'intéresser à leur cas sont diverses :

- une journée de travail de 12h composée de multiples appels téléphoniques sous casque,
- une fatigue mentale en fin de journée,
- une sensation de diminution de compréhension orale après le travail.

De plus, l'unité du SAMU étant située au sein de l'Hôpital Central, cet avantage est conséquent afin de bien mener le protocole de l'étude en local. Entre autre, les expérimentations doivent se dérouler dans l'Hôpital Central : les permanenciers du SAMU n'ont donc pas besoin de se déplacer sur une longue distance.

7.1.2. Problématiques

Le but principal de l'étude est de rechercher sur cette population l'apparition d'une fatigue auditive en fin de journée de travail, et, si effectivement elle est présente, étudier ses caractéristiques éventuelles au niveau du système auditif central grâce à l'audiométrie vocale dans le bruit, contrairement aux travaux de 2014 qui n'avaient étudié que le système périphérique. La problématique principale est donc la suivante :

1. « *La fatigue auditive est-elle présente chez les assistants de régulation médicale du SAMU, visible par l'audiométrie vocale dans le bruit ?* »

L'étude étant composée de plusieurs expérimentations, d'autres problématiques entrent en jeu :

2. « *Quelle est l'exposition moyenne quotidienne recueillie auprès de cette population ?* »

3. « *La fatigue engendrée par une journée de travail affecte-t-elle le plan mental ?* »

7.1.3. Mise en place de l'étude expérimentale

Les expérimentations se sont déroulées sur deux week end du mois de mars 2015, du vendredi soir au dimanche soir. Le principe des tests étant de comparer les résultats « avant-après », les assistants de régulation médicale du SAMU devaient donc se présenter avant leur prise de poste de 12h et ensuite directement après.

Suite à une pré-réunion de l'équipe, ainsi qu'une réunion de présentation auprès du personnel du SAMU, le planning de cette étude a été finalisé et s'est déroulé ainsi :

- réalisation de l'audiométrie vocale dans le bruit, du SPAN test ainsi que pose d'un cardiofréquencemètre en salle de mesures audiométriques,
- prise de poste,
- après 2h de travail, réalisation du test « Fuzzy TLX » visant à quantifier la charge mentale de travail,

- reprise de poste,
- à la fin du poste, reprise du Fuzzy TLX, réalisation de nouveau de l'audiométrie vocale dans le bruit, du SPAN test et retrait du cardiofréquencemètre,
- pendant le poste, mesure de l'exposition quotidienne au bruit via un mannequin spécifique conçu par l'INRS.

Nous allons nous concentrer essentiellement dans ce mémoire à notre propre participation à la recherche, c'est-à-dire aux résultats de l'audiométrie vocale dans le bruit ainsi qu'aux résultats du SPAN test.

7.2. POPULATION ÉTUDIÉE

L'échantillon de population testée est composé de sujets masculins et féminins, travaillant au SAMU de l'Hôpital Central de Nancy comme assistants de régulation médicale.

Après présentation du protocole de recherche lors d'une réunion auprès des assistants de régulation, un certain nombre de professionnels ont consentis à prendre part aux expérimentations.

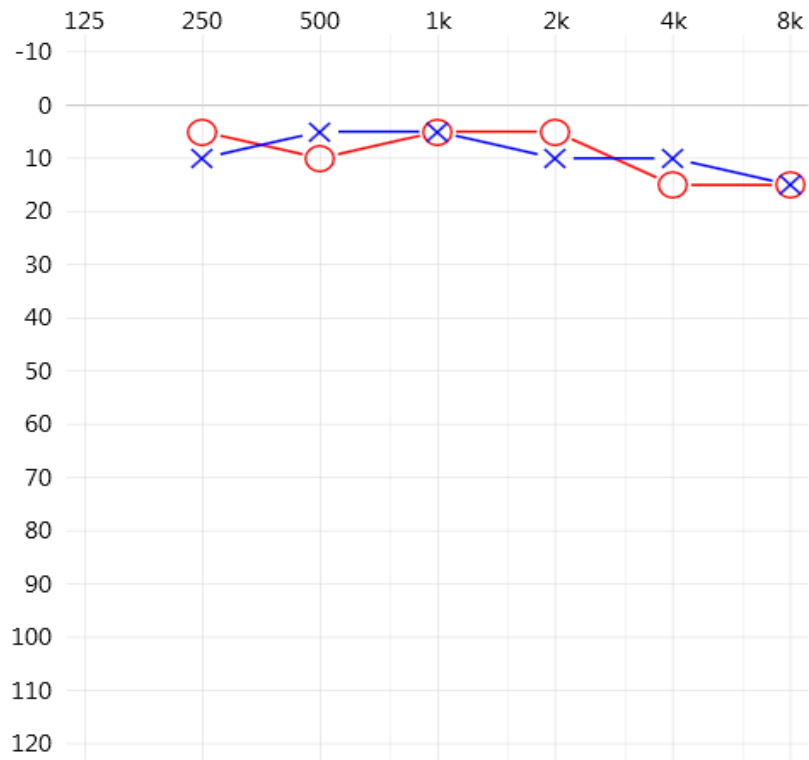
Les critères de sélection sont les suivants :

- travailler en tant qu'assistant de régulation médicale au SAMU, sous casque téléphonique,
- être éligible après un entretien avec un médecin ORL faisant partie de l'équipe de recherche. Cet entretien est composé d'une anamnèse orientée vers les antécédents médicaux et plus particulièrement ORL des sujets, un examen otoscopique afin d'écartier toute pathologie de l'oreille externe et moyenne, ainsi qu'une audiométrie tonale liminaire au casque.

Tous les sujets testés doivent être normo-entendant. Sont acceptées également les pertes légères (perte tonale moyenne ne dépassant pas 40 dB HL par oreille).

Aucun critère d'âge n'a été établi, sachant que chaque sujet travaille, leur âge est compris entre 18 et 65 ans environ. Il est reconnu qu'avec l'âge, les capacités de discrimination du signal vocal utile dans le bruit se dégrade : ceci n'est pas un problème dans le cadre de la recherche, qui vise à comparer des résultats personnels de type « avant-après ».

Après quelques exclusions dues aux critères précédents au niveau des professionnels volontaires, 13 sujets ont été retenus.



	Fréquence (Hz)	250	500	1000	2000	4000	8000
Ecart type (dB)	OD	6,80	7,20	6,80	8,10	9,30	10,00
	OG	5,50	6,80	7,10	7,80	8,70	9,80

Figure 21 : audiogramme tonal moyen de la population testée, avec écarts type (dB)

7.3. AUDIOMÉTRIE VOCALE DANS LE BRUIT ET SPAN TEST : CONDITIONS DE RÉALISATION

Dans l'objectif d'obtenir des résultats fiables et comparables de mesures audiométriques entre différents individus d'une population testée, il est nécessaire de répondre à plusieurs conditions, tant pour le matériel métrologique que le local destiné aux mesures.

7.3.1. *Le local de mesures audiométriques*

La local de mesures audiométriques choisit est une des cabines disponibles (plus précisément celle réservée aux enfants) au sein du service ORL de l'Hôpital Central. Pour obtenir des mesures vocales (et tonales) précises, il faut opérer dans une pièce conforme aux normes. Le local doit être traité acoustiquement dans le but d'obtenir des parois isolantes des bruits extérieurs et des vibrations. Ses parois doivent être peu réfléchissantes. Ces caractéristiques sont nécessaires afin de se rapprocher au maximum des conditions de champ libre.

Les normes à respecter concernant le local de mesures audioprothétiques sont issues du décret du 10 juin 1985 (n°85-590), c'est-à-dire :

- la cabine insonorisée doit disposer d'une surface minimale de 10m² et d'un volume utile minimal de 15 m³,
- le niveau de bruit de fond équivalent mesuré $L_{Aeq,1h}$ doit être inférieur ou égal à 40 dB(A), intégré sur une période d'une heure,
- le temps de réverbération du local doit être inférieur à 0,5 secondes à partir de l'octave 500 Hz [40].

Quelques mesures ont été nécessaires afin de vérifier la conformité aux normes citées précédemment.

Le niveau de bruit de fond équivalent du local a été mesuré par octave au moyen d'un sonomètre intégrateur de type B&K 2260 calibré. La correction apportée par la pondération A a été appliquée aux résultats en dB lin. Par sommation énergétique, nous obtenons un niveau valant 17,6 dB(A).

Oct (Hz)	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K
dB (lin)	20,6	14,7	15,3	11,1	7,8	8,6	10,4	11,8	12,6

dB lin (tot)	24
dB(A)	17,6

Figure 22 : valeurs relevées lors de la mesure du niveau de bruit de fond équivalent

Le temps de réverbération (« Tr ») a été quant à lui mesuré à l'aide du même sonomètre par octave en mode impulsionnel en 4 points de la pièce afin d'obtenir des résultats fiables. Nous obtenons ainsi un Tr inférieur à 0,15 secondes à partir de l'octave 500 Hz.

Durée (s)	Oct (Hz)	125	250	500	1K	2K	4K	8K
	1		0,27	0,19	0,17	0,13	0,11	0,1
2		0,2	0,17	0,18	0,12	0,11	0,12	0,12
3		0,22	0,2	0,14	0,13	0,13	0,1	0,13
4		0,18	0,21	0,12	0,11	0,1	0,1	0,13
Moyenne		0,22	0,19	0,15	0,12	0,11	0,11	0,13

Figure 23 : valeurs relevées lors de la mesure du temps de réverbération



Figure 24 : sonomètre Brüel & Kjaer de type 2260 [41]

7.3.2. Matériel utilisé

Les caractéristiques de chaque matériel utilisé ont été décrites dans la partie théorique.

Au niveau du matériel de diffusion sonore, les logiciels BioSoundSystem 3.0 et Distorsions, disponibles à l'école d'audioprothèse de Nancy, ont été transportés de la Faculté de Pharmacie jusqu'au local audiométrique de l'Hôpital Central. Il a fallu donc déplacer un ordinateur contenant les deux logiciels accompagné d'un amplificateur et du système de hauts-parleurs 5.1.

Au niveau de l'audiométrie vocale dans le bruit, 6 listes de mots dissyllabiques de Fournier ont été sélectionnées, à raison de deux listes par rapport signal sur bruit, à un niveau constant de 65 dB SPL. Chaque individu a donc été testé avec les trois même listes que les autres sujets avant la période de travail et de même après le période de travail. Ces 6 listes ont été sélectionnées préalablement dans l'objectif d'obtenir une difficulté inter-liste égale, en fonction des mots les composants. Ainsi, ont été sélectionnées :

- les listes n° 2, 3 et 4 pour le passage avant travail,
- les listes n° 9, 11 et 13 pour le passage après travail (listes disponibles en annexes).

Bien évidemment, il a été indiqué à chaque sujet de ne pas révéler d'indices susceptibles de fausser les tests des sujets suivants.

Le bruit perturbateur utilisé pour l'audiométrie vocale dans le bruit est l'Onde Vocale Globale, diffusé à trois RSB différents : -3 dB, 0 dB et +3 dB (niveaux : 62 dB SPL, 65 dB SPL et 68 dB SPL).

Au niveau du SPAN Test, utilisé sous le logiciel Distorsions, 2 séries de chiffres par difficulté sont disponibles : il en va de soi que chaque sujet entendra une nouvelle fois les même listes après le travail. Néanmoins, ce problème peut être écarté par le fait que chaque individu aura passé 12h au travail et qu'il n'aura pas mémorisé ces listes de chiffres.

Les hauts-parleurs ont été disposés de telle sorte qu'ils soient équidistants du sujet, et aux azimuts décrits dans la partie théorique. La cabine de mesures audiométriques est composée en réalité d'une double cabine séparée par une vitre, ce qui permet au testeur de ne pas gêner le sujet testé. Les expérimentations se déroulant sur deux week end séparés, nous n'avons pu déplacer le matériel déjà contenu dans la cabine, composé d'autres haut-parleurs sur pieds (non-utilisés pour le mémoire) et de matériel destiné à l'audiométrie infantile. Les hauts-parleurs ont donc été disposés à une distance d'environ 1 mètre de l'individu testé.



Figure 25 : disposition de la salle de mesure audiométrique

Sur l'image ci-dessus, le flèche rouge indique le type de haut-parleurs utilisés pour les mesures.

L'image ci-dessous désigne le point de vue du testeur depuis la première cabine vitrée :



Figure 26 : poste de travail du testeur

La porte séparant les deux cabines est laissée volontairement ouverte afin de permettre au testeur de comprendre chaque réponse de l'individu testé. Le niveau de bruit de fond équivalent et le temps de réverbération ont été mesurés dans cette configuration.

7.3.3. Calibration du matériel

Le calibrage du réseau de haut-parleurs avec le logiciel BioSoundSystem et l'amplificateur est primordial afin d'obtenir des résultats fiables.

Effectuée grâce au BioSoundSystem, la calibration se déroule en diffusant la source sonore nommée « calibrage » : chaque haut-parleur va alors émettre un signal de type bruit blanc seul, puis jumelé avec d'autres haut-parleurs. À l'aide du sonomètre B&K 2260, nous mesurons chaque émission sonore et notons chaque valeur dans le logiciel, jusqu'à ajustement des sources sonores.

Le logiciel écrit alors les données de calibration dans la clé de protection BioSoundSystem, ce qui facilite le transfert de données en cas de changement d'ordinateur.

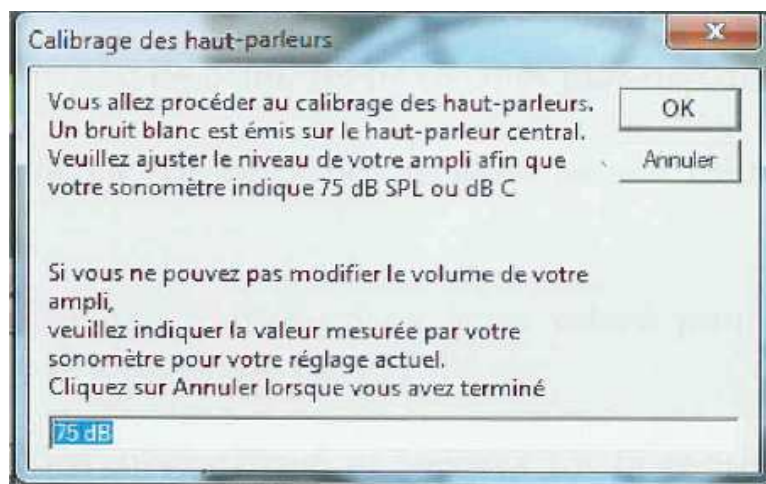


Figure 27 : fenêtre de calibration du BioSoundSystem 3.0 [32]

7.4. PROTOCOLE D'ÉTUDE

Dans cette partie sera présenté le protocole de tests relatifs à l'étude et non les protocoles de passage des autres tests concernant l'étude complète.

Chaque sujet doit se présenter environ 30 minutes avant sa prise de poste. Une période de travail valant 12 heures, deux équipes se succèdent :

- l'équipe de jour, de 7h à 19h,
- l'équipe de nuit, de 19h à 7h.

Certains postes ont été légèrement décalés afin de pouvoir tester plusieurs sujets la même matinée et plusieurs la même soirée.

À la fin de poste, chaque individu testé se rend directement à la cabine de mesures audiométriques afin de procéder de nouveau aux tests.

7.4.1. *Otoscopie*

Un examen otoscopique a été réalisé lors de chaque entretien de sélection des sujets. Malgré cela, il est nécessaire de vérifier l'état du conduit auditif externe de chaque individu lorsque celui-ci arrive à la salle de mesures audiométriques, dans l'objectif d'écarter tout problème pouvant nuire au bon déroulement de l'étude (de type bouchon de cérumen, infection ou encore présence d'un corps étranger dans le conduit).

7.4.2. *Audiométrie vocale dans le bruit*

À la suite de l'otoscopie, le sujet est installé dans la cabine, sur une chaise placée au centre du réseau de haut-parleurs, afin de procéder à l'audiométrie vocale dans le bruit. Les consignes destinées au sujet doivent être simples, compréhensibles et complètes. Elles sont les suivantes :

- « nous allons émettre une série de 10 mots composés de deux syllabes depuis le haut-

parleur central. À chaque mot entendu, il faudra répéter ce que vous avez compris. La répétition doit être claire afin que nous comprenions votre réponse. Cette répétition doit se faire immédiatement après écoute du mot, car la liste défile à une vitesse constante,

- l'écoute de cette liste de mots sera compliquée par une ambiance bruyante diffusée par les haut-parleurs autour de vous : il ne faut pas prêter attention à ce bruit et se concentrer sur les mots,
- nous allons tester votre capacité de compréhension sur trois listes, on augmentant progressivement le bruit autour de vous ».

Lors du premier passage à l'audiométrie vocale dans le bruit, une liste d'essai diffusée à un RSB de 0 dB est mise en place, afin que le sujet comprenne réellement le contexte de ce test, qui peut être perturbant la première fois.

Les résultats sont consignés automatiquement dans le logiciel BioSoundSystem et seront repris par la suite sur un tableur.

7.4.3. SPAN Test

Directement à la suite de l'audiométrie vocale dans le bruit, on effectue le SPAN Test. Le patient restant à la même place. Nous donnons alors les consignes de l'examen :

- « nous allons tester votre mémoire immédiate grâce à des séries de chiffres,
- le test débute avec une série de 3 chiffres, que vous allez écouter et répéter à la fin de la diffusion. Vous avez environ une dizaine de secondes pour répondre,
- si vous avez répondu correctement, nous passons à une série de 4 chiffres et ainsi de suite,
- si vous vous êtes trompé lors de la répétition, nous vous l'informerons et vous donnerons une seconde chance sur une autre série de la même difficulté,
- le test prendra fin si vous avez répondu correctement à une série de 8 chiffres, ou si vous vous êtes trompé deux fois de suite sur un même niveau de difficulté ».

Pour ce test, il n'est pas possible d'effectuer une série d'essai, car il n'y a pas assez de listes de chiffres disponibles. Néanmoins, la difficulté de compréhension du principe du SPAN Test est plus simple que l'audiométrie vocale dans le bruit.

7.4.4. Remarques

Ces tests sont effectués avant et après le poste de travail. Chaque sujet a la consigne d'éviter de longs temps de pause susceptibles de reposer l'oreille entre les tests et le travail. Malgré tout, la cabine audiométrique se trouvant éloignée de l'unité de régulation médicale du SAMU dans l'enceinte de l'Hôpital Central, une durée d'au moins 5 minutes est nécessaire entre la fin du poste et l'arrivée à la cabine de mesures.

À la suite de l'audiométrie vocale dans le bruit et du SPAN Test, nous procédons à la mise en place d'un cardiofréquencemètre que le sujet portera tout au long de sa session de travail. Nous procédons également à sa désinstallation lors du second passage en fin de poste. Les résultats de chaque appareil seront analysés par la suite par un membre de l'équipe de recherche. Il est important de surveiller d'éventuelles élévations du rythme cardiaque, qui peuvent être un signe de stress et/ou de fatigue.

À la fin de la session de 12 heures de travail, nous nous entretenons avec le sujet testé afin de connaître son état global de fatigue (sans test précis).

7.5. RÉSULTATS STATISTIQUES ET DISCUSSION

7.5.1. *Rappels de notions statistiques*

Avant d'aborder les résultats de l'audiométrie vocale dans le bruit et du SPAN Test, il est nécessaire d'effectuer un bref rappel des notions statistiques utilisées pour obtenir nos résultats.

7.5.1.1 Moyenne arithmétique [42]

La moyenne arithmétique représente la somme des valeurs « x_i » divisée par le nombre d'éléments « N » :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}$$

7.5.1.2 Écart type [42]

L'écart type sert à mesurer la dispersion d'un ensemble de données. En somme, plus il est faible, plus les valeurs se rapprochent de la moyenne. Au contraire, plus il est élevé, plus ces valeurs sont éloignées de la moyenne. L'écart type s'exprime par la formule suivante :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{N}}$$

7.5.2. Résultats de l'étude

Seront d'abord présentés les scores obtenus à l'audiométrie vocale dans le bruit et au SPAN Test.

Nous aborderons ensuite les résultats des autres expérimentations afin de pouvoir commenter de manière globale la recherche.

7.5.2.1 Audiométrie vocale dans le bruit

Le tableau 1 regroupe les valeurs obtenues par liste (score /10) en fonction des différents RSB, avant puis après la période de travail.

SUJET		SCORE					
		AVANT			APRES		
		RSB -3	RSB 0	RSB +3	RSB -3	RSB 0	RSB +3
1	Z L	0	3	7	1	2	7
2	M C	0	2	8	6	5	7
3	C C	0	3	8	5	4	7
4	C P	1	6	7	2	5	8
5	G V	0	3	3	1	3	5
6	F V	0	4	5	4	3	3
7	C C	0	5	7	1	4	5
8	W R	0	2	7	3	3	5
9	G J	1	3	7	1	4	7
10	M N	1	5	8	1	6	7
11	V E	0	3	7	2	4	3
12	W K	0	1	4	2	3	4
13	B G	0	5	3	0	3	6
MOYENNE		0,23	3,46	6,23	2,23	3,77	5,69
ECART TYPE		0,42	1,39	1,76	1,72	1,05	1,59

Tableau 1 : score de compréhension à l'audiométrie vocale dans le bruit en fonction du RSB, avant et après travail

Le tableau 2 synthétise par sujet testé, la différence de score entre le passage avant travail et celui après travail, pour chaque RSB. Logiquement, un résultat positif signifiera une baisse de performances auditives dans le bruit après le travail, et au contraire un score négatif signifiera une amélioration des performances après travail.

SUJET		EVOLUTION AVANT/APRES		
		RSB -3	RSB 0	RSB +3
1	Z L	-1	1	0
2	M C	-6	-3	1
3	C C	-5	-1	1
4	C P	-1	1	-1
5	G V	-1	0	-2
6	F V	-4	1	2
7	C C	-1	1	2
8	W R	-3	-1	2
9	G J	0	-1	0
10	M N	0	-1	1
11	V E	-2	-1	4
12	W K	-2	-2	0
13	B G	0	2	-3
MOYENNE		-2,00	-0,31	0,54
ECART TYPE		1,88	1,38	1,78

Tableau 2 : différence de score d'audiométrie vocale dans le bruit par sujet avant par rapport à après travail

Le diagramme ci-après synthétise les résultats obtenus dans le premier tableau, c'est-à-dire les scores par liste en fonction de chaque RSB.

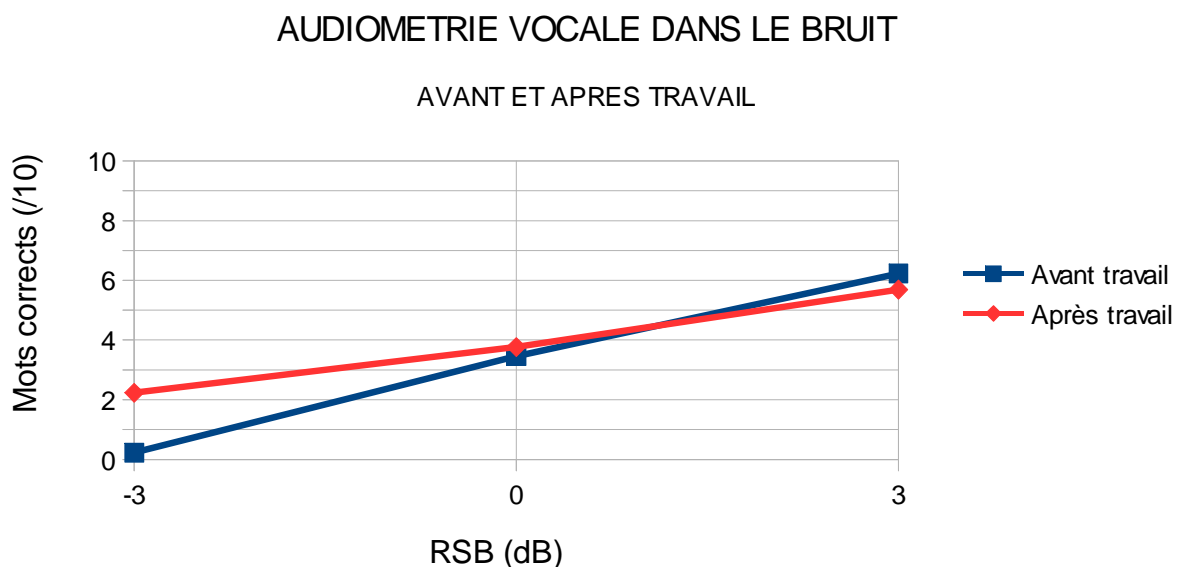


Figure 28 : scores moyens obtenus à l'audiométrie vocale dans le bruit en fonction du RSB, avant et après travail

Le second diagramme synthétise les résultats obtenus dans le second tableau, c'est-à-dire l'évolution du score avant par rapport à après.

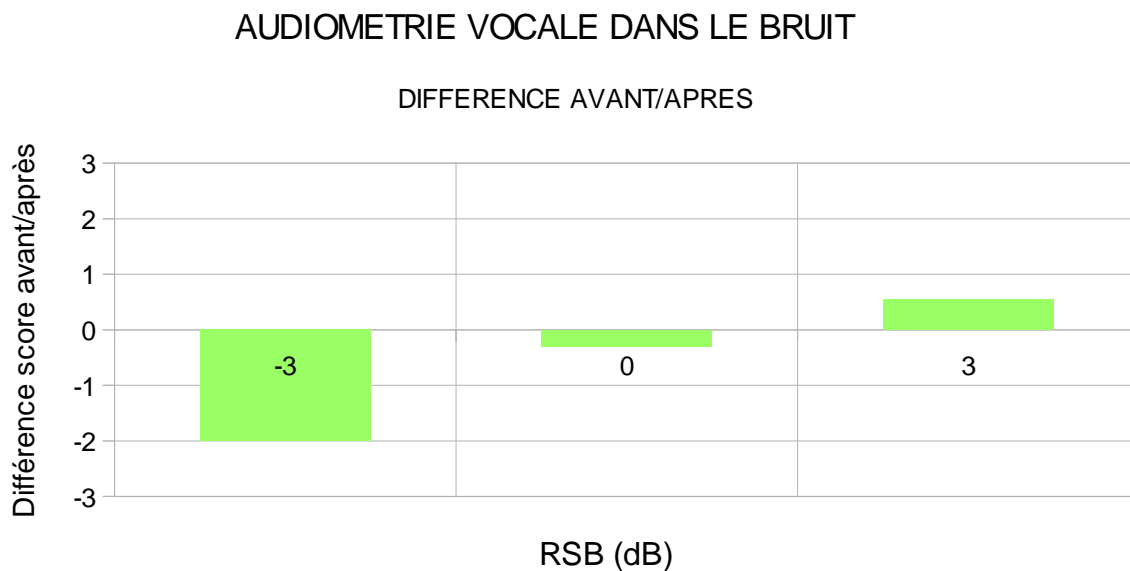


Figure 29 : différence moyenne de score d'audiométrie vocale dans le bruit par sujet en fonction du RSB

7.5.2.2 SPAN test

Le tableau 3 représente les scores obtenus pour le SPAN Test auprès de chaque sujet testé, avant puis après travail. La colonne « variation avant/après » correspond à la différence de score avant travail par rapport à après travail. En somme, une variation négative signifiera un score plus élevé après travail, et à contrario un score positif signifiera une baisse de capacités mémorielles.

Sujet	Score		Variation Avant/après
	Avant	Après	
1	7	8	-1
2	5	5	0
3	6	6	0
4	6	6	0
5	6	7	-1
6	6	7	-1
7	6	7	-1
8	5	7	-2
9	7	7	0
10	6	5	1
11	6	6	0
12	6	6	0
13	8	8	0
Moyenne	6,15	6,54	-0,38

Tableau 3 : résultats du SPAN TEST, avant travail, après travail puis variation avant/après

7.5.2.3 Observations et interprétations

Au niveau de l'audiométrie vocale dans le bruit, nous constatons une élévation des scores (/10) pour les RSB valant -3 dB et 0 dB après une session de 12 heures de travail, surtout au niveau du RSB de -3 dB, qui gagne 2 points sur 10 en score.

Pour le RSB valant +3 dB, nous obtenons une baisse de score après travail, malheureusement minime : de 6,23/10 à 5,69/10. Nous ne pouvons considérer ce résultat comme probant.

De plus, les écart types calculés sont compris globalement entre 1 et 2 points, ce qui paraît élevé et reflète bien le faible nombre de sujets dans cette étude.

Globalement, nous pouvons conclure qu'au niveau de l'audiométrie vocale dans le bruit, nous ne constatons pas de déficience due à une éventuelle fatigue auditive après 12 heures de travail sous activité téléphonique.

Au niveau du SPAN test, les scores obtenus après 12 heures de travail sont sensiblement les mêmes qu'avant la prise de poste : le score après travail est de 6,54/8 en moyenne contre 6,15/8 avant la prise de poste. De même que pour l'audiométrie vocale dans le bruit, l'étude de cette population via le SPAN Test nous montre qu'on ne constate pas réellement d'effet sur l'intégration centrale auditive jumelée à la mémoire de travail.

7.5.3. Autres résultats de la recherche

7.5.3.1 Activité téléphonique moyenne

L'équipe contribuant à l'étude a relevé, pour chaque sujet participant, l'activité téléphonique moyenne pour une période de travail soit de nuit, soit de jour. Les résultats sont disponibles dans le tableau 4.

	Jour	Nuit
Sujet	Temps de communication	Temps de communication
Z		01:45:54
G		01:33:27
C	03:52:01	
G	03:47:08	
F	04:39:30	
M	04:17:07	
B		01:37:24
W		02:13:21
M	03:43:09	
C	03:03:33	
V		01:56:31
C	04:10:48	
W	03:55:31	
Moyenne	03:56:05,88	01:49:19,40

Tableau 4 : activité téléphonique de chaque sujet, en fonction de la période de travail diurne ou nocturne

On observe qu'en réalité, sur une période de 12 heures, l'activité téléphonique n'a pas un poids significatif par rapport à la durée totale de travail :

- environ 4 heures de communications pour une période diurne, ce qui correspond à un tiers du temps passé au SAMU,
- environ 2 heures de communications pour une période nocturne, ce qui correspond à un sixième du temps passé au SAMU.

Nous pouvons conclure de cette étude qu'en réalité les sujets ne sont pas exposés au bruit de leur casque téléphonique sur 12 heures de suite, mais plutôt sur un tiers voire un sixième du temps, évidemment entrecoupé de pauses à des niveaux moins élevés.

Il est intéressant de voir maintenant à quel niveau sonore correspond cette exposition téléphonique.

7.5.3.2 Exposition sonore journalière

Dans le tableau 5 est présentée l'exposition sonore $L_{EX,d}$ des sujets participants à l'étude.

Ces mesures d'exposition sonore (en dB(A)) ont été réalisées individuellement à chaque poste grâce à la « tête » artificielle de l'INRS : ses caractéristiques physiques permettent de se rapprocher de la réalité de l'oreille humaine, une correction acoustique d'oreille occluse a dû être appliquée aux valeurs.

Plusieurs paramètres ont été pris en compte :

- la durée de communication de chaque sujet,
- la dose de bruit partielle de communication « D_c », qui correspond en réalité au niveau de bruit équivalent relevé sur chaque sujet, ramené sur une période de référence de 8 heures,
- la dose de bruit ambiant sur le plateau de communication « D_a », qui correspond au niveau de bruit équivalent relevé dans le local de travail hors communication téléphonique : ces valeurs étant de 55 dB(A) en période nocturne, et de 57 à 58 dB(A) en période diurne,

- enfin la dose de bruit globale, résultat de la sommation énergétique des doses D_a et D_c , ramenée sur 8 heures de travail, ce qui correspond au final à l'exposition sonore journalière de chaque sujet testé.

Sujet	Communication (dB A)	Durée communication + écoute audio (heures)	Durée du poste (heures)	Dose partielle Communication (D_c) (dB A)	LEX,d Dose Globale ($D_a + D_c$) (dB A)
1	65,6	1:55	12:00	57,5	59
2	69	3:45	12:00	64	64,5
3	70,6	3:15	12:00	65	65,5
4	70,7	3:45	12:00	65,5	66
5	67	3:51	12:00	62	63
6	69,5	4:45	12:00	65,5	66
7	73,1	4:20	12:00	68,5	69
8	78,1	4:10	12:00	73,5	73,5
9	71,3	2:55	12:00	65	65,5
10	68,3	6:05	12:00	65,5	66
11	66,6	3:03	12:00	60,5	61,5
12	72,9	4:39	12:00	69	69
13	70,5	4:45	12:00	66,5	66,5
moyenne	70,2	3:56	12:00:00	65,2	65,8

Tableau 5 : exposition sonore partielle de communication et exposition sonore journalière

Cette étude nous montre qu'en réalité, en prenant en compte les temps d'activité téléphonique de chaque sujet, l'exposition sonore journalière vaut en moyenne un niveau de 65,8 dB(A) sur 8 heures de travail. Nous sommes en droit de remettre en question la possibilité d'une nuisance au niveau du système auditif dû à cette exposition.

7.5.3.3 Ressenti personnel de chaque sujet

Lors de chaque second passage en cabine audiométrique (après travail), nous avons pu discuté brièvement avec les sujets testés afin de connaître leur ressenti personnel au niveau de leur fatigue mentale et/ou auditive et sur la difficulté à répondre aux tests.

Globalement, nous avons pu constater que la majorité des sujets ont trouvé les tests

d'audiométrie vocale dans le bruit et de SPAN plus faciles après les 12 heures de travail.

Ils qualifient également leur état de fatigue comme faible, car habitués à ce rythme singulier de travail.

Néanmoins, deux sujets nous ont fait part d'une réelle fatigue, ressentie également au niveau auditif : les sujets n° 7 et 8, qui ont tous deux, obtenus des résultats (légèrement) plus faibles après travail. Malgré cela, leur variation avant/après au SPAN test reste négative, ce qui signifie un meilleur score après travail.

7.5.3.4 Charge mentale de travail

Par le biais du test Fuzzy TLX, qui correspond à une série de questions sur ordinateur orientée vers la charge mentale de travail, l'équipe en parallèle a pu constater des résultats, qui montrent une élévation de la charge de travail entre les deux sessions d'examen. Pour rappel, la première session de ce test s'est effectuée au bout de 2 heures de travail, et la seconde session après la période de travail.

Ces résultats nous paraissent logiques car ce métier demande une concentration élevée sur une période longue.

7.5.4. Conclusions de l'étude

L'étude visant à mesurer une certaine fatigue auditive auprès des assistants de régulation médicale du SAMU, n'a pas réellement donné les résultats attendus.

En effet, aucun impact n'a pu être constaté au niveau du système auditif périphérique et central au moyen de l'audiométrie vocale dans le bruit.

Plusieurs biais propres aux conditions d'étude et aux conditions de travail peuvent expliquer ce résultat :

- l'exposition sonore journalière ne possède pas, en finalité, un niveau sonore très élevé (65,8 dB (A)),

- les temps de communications sont faibles par rapport au temps passé au niveau du plateau de régulation, ce qui permet à l'oreille de se « reposer », et d'éviter une éventuelle fatigue auditive métabolique (excitotoxicité glutamatergique, voir partie théorique),
- malgré nos efforts afin de sélectionner des listes dissyllabiques de Fournier de difficultés proches, nous avons pu constater qu'en réalité, ces listes ne sont pas équilibrées phonétiquement : certains phonèmes émergent plus aisément du bruit perturbateur (OVG) que d'autres,
- en corrélation avec ces émergences, la suppléance mentale de chaque sujet a pu entrer en jeu et permettre de répondre correctement à des mots partiellement intelligibles,
- une certaine notion d'entraînement a pu entrer en jeu lors de la seconde session de tests,
- enfin, nous avons pu remarquer, uniquement pour les sujets travaillant en période diurne, qu'il leur était plus aisé à se concentrer sur les tests à 19h qu'à 6h30. Les tests en matinée ont pu être impactés par l'état d'éveil physique et mental des sujets.

Aucun impact réel n'a pu être constaté sur la capacité d'encodage de la mémoire de travail.

Plusieurs biais peuvent être considérés au niveau de la réalisation du SPAN Test :

- l'état d'éveil des sujets travaillant en période diurne affiliée à un manque d'entraînement (découverte du test) lors du premier passage,
- un manque de listes de chiffres pouvant apporter de l'aide aux sujets ayant retenu quelques listes (apparemment, aucun n'a réellement retenu les séries),
- un manque de niveaux de difficulté de listes : en effet, certains sujets ont obtenu le score maximal de 8, il aurait pu être intéressant de continuer sur des séries de chiffres plus élevées.

En conclusion, cette étude a pu démontrer que les plaintes recueillies auprès des assistants de régulation médicale du SAMU ne relèvent pas réellement de l'ordre d'une fatigue auditive, mais plutôt du résultat d'une fatigue physique globale et d'une charge mentale de travail conséquente. Cette charge peut s'expliquer par le rythme spécifique de travail de ces assistants : durée de poste de 12 heures, périodes diurnes ou nocturnes.

8. ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE

8.1. INTRODUCTION À LA SECONDE EXPÉRIMENTATION

Suite aux résultats peu significatifs obtenus lors de notre participation au protocole de l'étude, nous avons décidé, avec l'aide active du docteur Joël Ducourneau, de pratiquer une seconde série de tests dans l'objectif de contourner certains biais de l'étude précédente.

Le point négatif le plus gênant relevé lors de l'étude précédente correspond aux faibles temps de communications téléphoniques obtenus en moyenne. Ces temps de communication sont en effet espacés par des périodes plus ou moins longues de « pauses auditives », où les sujets étaient exposés à des niveaux de bruit de fond ambiant de l'ordre de 55 à 58 dB(A), permettant sûrement à l'oreille interne de se reposer et d'éviter une fatigue auditive métabolique.

Cette réflexion nous amène donc à une nouvelle problématique :

« une mesure de fatigue auditive est-elle réalisable à l'audiométrie vocale dans le bruit dans des conditions d'exposition sonore continue, en conservant les conditions relevées auprès des assistants de régulation médicale ? »

L'étude complémentaire de ce mémoire s'est donc mis en place hors de l'Hôpital Central , au sein de la Faculté de Pharmacie de Nancy, dans les locaux destinés à Travaux Pratiques de l'école d'audioprothèse.

Les même tests ont été effectués (audiométrie vocale dans le bruit ainsi que SPAN test), auxquels s'ajoute un nouvel examen : le test ANL de Nabelek (décrit en partie théorique).

Afin de reproduire des conditions proches du travail des assistants de régulation médicale, nous avons pratiqué des tests de type « avant/après », avec exposition à un matériel sonore spécifique pour remplacer les communications téléphoniques du SAMU. Cela sera développé dans un chapitre suivant.

8.2. POPULATION ÉTUDIÉE

Pour cette seconde expérimentation, notre nouvel échantillon de population se compose de 5 volontaires, exclusivement masculins (le facteur « sexe » n'entrant pas en jeu dans nos problématiques).

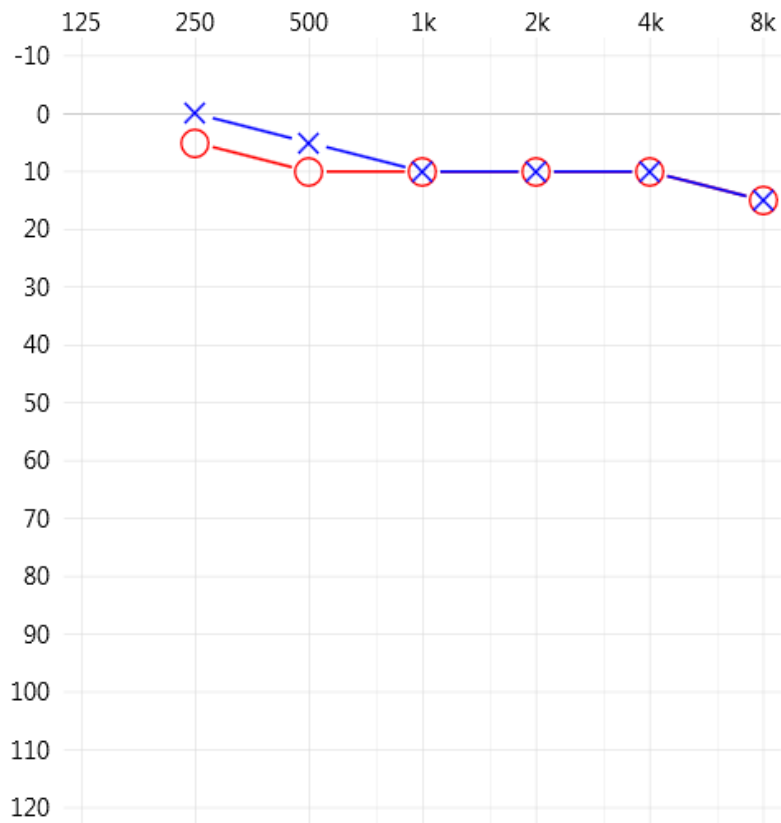
Le facteur âge n'entrant pas non plus en jeu dans ce mémoire, les 5 sujets sont âgés de 21 à 22 ans.

Les critères de sélection sont sensiblement proches de ceux de la première partie expérimentale :

- être normo-entendant dans la limite d'acceptation des pertes légères (perte tonale moyenne inférieure ou égale à 40 dB HL à l'audiométrie tonale liminaire au casque),
- ne pas avoir de pathologie de type ORL, pouvant nuire aux expérimentations, et obtenir un examen otoscopique normal.

Sans présence de médecin ORL légalement qualifié, cette sélection a été effectuée par nos soins grâce aux compétences acquises lors du Diplôme d'État d'Audioprothésiste, ainsi qu'au matériel disponible en salles de Travaux Pratiques.

Les audiométries tonales liminaires réalisées auprès de chaque volontaire sont disponibles en annexes.



	Fréquence (Hz)	250	500	1000	2000	4000	8000
Ecart type (dB)	OD	2,24	2,74	2,24	4,47	8,22	5,70
	OG	2,24	2,74	2,24	2,74	5,00	6,52

Figure 30 : audiogramme tonal moyen des sujets testés, avec écarts type (dB)

8.3. CONDITIONS DE RÉALISATION

Comme pour la partie 7.3 de ce mémoire, nous allons décrire le matériel métrologique utilisé ainsi que le matériel sonore, nécessaire à la bonne réalisation des mesures et à l'obtention de résultats fiables.

8.3.1. Le local de mesures audiométriques

Le local de mesures est situé dans les locaux de Travaux Pratiques de la Faculté de Pharmacie. Cette pièce contient habituellement le logiciel BioSoundSystem 3.0 ainsi que le réseau de haut-parleurs 5.1.

L'audiométrie tonale liminaire au casque étant également possible dans ce local, il est traité acoustiquement afin de vérifier toutes les caractéristiques relatives aux normes (décrites en partie 7.3). Il n'a donc pas été nécessaire de vérifier ces caractéristiques en mesurant de nouveau le niveau de bruit de fond équivalent ainsi que le temps de réverbération à l'octave 500 Hz.

Il est à noter que cette salle ne possède pas de double cabine : le testeur se trouve donc dans la même pièce que le sujet, en dehors tout de même du réseau de haut-parleurs.

8.3.2. Matériel utilisé

8.3.2.1 Matériel destiné aux mesures

Nous avons globalement utilisé le même matériel que lors de notre précédente étude.

Les éléments suivants regroupés définissent notre matériel métrologique :

- le logiciel BioSoundSystem 3.0 pour l'audiométrie vocale dans le bruit et le test ANL,
- le logiciel Distorsions pour le SPAN test, présent sur le même ordinateur,
- le système de haut-parleurs 5.1 ainsi que l'amplificateur spécifique, calibrés.

Au niveau de l'audiométrie vocale dans le bruit, 12 listes de mots dissyllabiques de Fournier ont été sélectionnées comme signal vocal utile, de manière à rechercher un équilibre en difficulté. De plus, un des sujets étant en troisième année du diplôme d'état, il était nécessaire de choisir des listes éloignées des premières afin d'éviter toute anticipation de sa part. Ces listes sont toujours diffusées à un niveau sonore de 65 dB SPL, sur le haut-parleur central.

Les mesures s'effectuant sur un week end (samedi et dimanche), à raison de 4 sessions de tests par personne et 3 listes par audiométrie vocale, les listes de mots sélectionnées sont les suivantes :

- samedi, avant exposition : listes n° 20, 21 et 22,
- samedi, après exposition : listes n° 23, 24 et 25,
- dimanche, avant exposition : listes n° 14, 15 et 16,
- dimanche, après exposition : listes n° 17, 18 et 19.

Le bruit perturbateur utilisé reste l'Onde Vocale Globale, afin de ne pas changer les conditions de réalisation. Les trois mêmes RSB sont mis en place : +3 dB, 0 dB et -3 dB. La diffusion s'opère au niveau des 4 haut-parleurs aux azimuts 45°, 135°, 225° et 315°. Les dimensions du local étant plus importantes que la cabine de mesures utilisée à l'Hôpital Central, les haut-parleurs sont plus espacés du sujet testé, qui reste quant à lui, au centre du réseau.



Figure 31 : disposition des haut-parleurs dans la salle de mesures, haut-parleur central désigné par la flèche rouge

Concernant la SPAN Test, son principe reste le même, avec toujours deux séries à difficultés allant de 3 à 8 chiffres. Néanmoins, compte tenu du fait que chaque sujet va subir un SPAN test avant et après exposition au bruit, et ce deux jours d'affilée, il est devenu nécessaire de créer d'autres séries de chiffres. Ainsi, à l'aide du logiciel de montage audio Audacity [43], nous avons pu créer deux nouvelles séries de chiffres par difficulté en différentes étapes :

- charger le fichier sonore contenant les séries de chiffres sur Audacity,
- sélectionner une bande sonore contenant un ou plusieurs chiffres,
- déplacer cette bande pour créer de nouvelles combinaisons de chiffres,
- respecter l'intervalle de temps entre chaque chiffre afin de ne pas perturber l'auditeur,
- veiller à respecter la règle d'un seul même chiffre dans une série.

Le SPAN test est effectué via le logiciel Distorsions, la diffusion s'effectue sans bruit perturbateur sur le haut-parleur central du réseau à un niveau sonore de 65 dB SPL.

Au niveau du test ANL, comme détaillé dans la partie théorique correspondante, le matériel vocal utile correspond à un conte de Charles Perrault (« Riquet à la Houppe »), diffusé de façon continue à 65 dB SPL en niveau du haut-parleur central. Les quatre autres haut-parleurs émettent simultanément l'OVG comme bruit perturbateur, à une intensité croissante jusqu'à ce que le sujet ne comprenne plus le signal vocal utile.

8.3.2.2 Matériel destiné à l'exposition sonore

Afin de recréer artificiellement la scène sonore constatée lors des sessions de travail des assistants de régulation médicale du SAMU, nous avons décidé d'exposer les 5 sujets à deux pistes sonores, à raison d'une par jour, à des intensités et durées différentes.

Les assistants étant soumis sur 12 heures à un mélange de bruits et de conversations, ces dernières devant retenir leur attention, nous avons choisi de faire écouter aux nouveaux sujets deux livres audio. À l'origine, nous avons pensé au bruit blanc ou à l'Onde Vocale Globale comme signaux d'exposition, ils ont été rejetés pour les raisons suivantes :

- le bruit blanc n'est pas représentatif d'un signal de parole, et donc du mélange sonore subit par la population de la première expérimentation,
- l'OVG est représentatif d'un signal de parole, mais est non-compréhensible, ce qui ne permet pas à l'auditeur de concentrer son attention et de stocker des informations langagières, comme lors d'une communication téléphonique.

Deux livres audio ont donc été choisis après concertation auprès des participants aux épreuves. Ces livres disponibles gratuitement sur internet, nommés « Survivaure » et « Reflets d'acide », sont tous deux des aventures humoristiques de nature fantastique [44] [45].

Le matériel nécessaire à l'écoute de ces fichiers sonores se compose de cinq ordinateurs et de cinq casque audio affiliés respectivement aux ordinateurs.

Deux sessions d'écoute ont été définies pour chaque sujet sur le week end :

- l'écoute du fichier Survivaure sur 2 heures,
- l'écoute du fichier Reflet d'acide sur 4 heures.

Les systèmes casques audio – ordinateurs ont été calibrés dans l'objectif d'obtenir une exposition sonore quotidienne $L_{EX,8h}$ égale à celle des assistants de régulation médicale, c'est-à-dire 65,8 dB (A). D'après la formule de l'exposition quotidienne (voir partie théorique), nous avons déterminé les niveaux sonores continus équivalents respectifs de chaque fichier :

- pour le fichier de 2 heures : $L_{Aeq,2h} = 71,8 \text{ dB(A)} \sim 72 \text{ dB(A)}$,
- pour le fichier de 4 heures : $L_{Aeq,2h} = 68,8 \text{ dB (A)} \sim 69 \text{ dB (A)}$.

8.3.3. Calibration du matériel

La calibration du réseau de haut-parleurs, de l'amplificateur et de l'ordinateur de contrôle des tests s'effectue de la même manière que lors de la première expérimentation (voir 7.3.3).

Les systèmes ordinateurs – casques audio ont été calibré respectivement grâce au mannequin KEMAR (Knowles Electronics Mannequin for Acoustic Research) disponible à la Faculté de Pharmacie.

Produit par la société G.R.A.S., le KEMAR est un mannequin à l'échelle humaine permettant à l'utilisateur de réaliser des mesures reflétant très précisément les facultés acoustiques de l'oreille. Il est composé d'un buste, d'une tête et de deux pavillons artificiels, masquant à l'intérieur de la tête des microphones reliés à deux coupleurs de Zwislocki afin de recréer deux cavités de volume $1,26 \text{ cm}^3$ (valeur moyenne du volume du conduit auditif externe, fermé par la membrane tympanique). Ce mannequin offre de nombreuses possibilités d'utilisation, dont par exemple celle dont nous avons usage dans ce mémoire.



Figure 32 : KEMAR de la Faculté de Pharmacie

Avant de procéder à la calibration des ordinateurs et des casques, il est nécessaire d'effectuer le calibrage du mannequin KEMAR. Pour se faire, nous avons pu obtenir le prêt d'un piston-phone spécifique par la société G.R.A.S., de type 42AP (microphone demi-pouce). Nous retirons alors les deux pavillons artificiels du KEMAR, afin de coupler le piston-phone et l'entrée de chaque conduit, via un adaptateur. L'étalonnage s'effectue automatiquement au moyen d'un bruit filtré au tiers d'octave de fréquence centrale 250 Hz à une intensité sonore de 113,83 dB lin (ou 105,20 dB pondérés A). Le guide de calibration fourni par G.R.A.S. est disponible en annexes.



Figure 33 : piston-phone spécifique pour KEMAR et adaptateur



Figure 34 : étape d'étalonnage du KEMAR

Le KEMAR étant étalonné, nous avons pu calibrer les systèmes ordinateurs – casques audio. Pour se faire, nous relierons le mannequin au logiciel de visualisation et de traitement sonore SpectraPlus, disponible en salle de Travaux Pratiques. La calibration est effectuée selon les étapes suivantes :

- pose du casque relié à l'ordinateur sur le KEMAR,
- diffusion du fichier sonore (de 2h ou de 4h en fonction de l'ordinateur),
- visualisation du niveau de bruit continu équivalent Leq,T sur une durée de référence de 60 secondes,
- ajustement du niveau de diffusion de l'ordinateur jusqu'à obtention d'un Leq,T très proche de 69 dB (A) ou 72 dB (A) en fonction du fichier sélectionné.

Des captures d'écran du logiciel SpectraPlus lors de la calibration ont été effectuées et sont disponibles en annexes.

Il est nécessaire de remarquer que la diffusion des fichiers sonores s'effectue en stéréophonie : les niveaux varient donc légèrement d'une oreille à une autre, la calibration peut donc varier de l'ordre de 1 décibel par rapport à la valeur de référence d'un haut-parleur d'un casque audio à l'autre.

8.4. PROTOCOLE DE L'ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE

Dans cette partie, nous allons énumérer les différentes étapes de la seconde expérimentation.

Les deux journées de mesures ont été effectuées sur un week end du début du mois de juillet, à raison du samedi et du dimanche. Des horaires précis ont été définis afin d'empêcher un éventuel chevauchement des sujets sur les mesures. En ayant évalué la durée des tests pré et post exposition à une trentaine de minutes, l'emploi du temps de chaque sujet a été défini comme suit :

- arrivée 5 minutes avant le début de l'expérimentation,
- 30 minutes de tests avec consignes,
- écoute du fichier sonore de 2 heures ou de 4 heures sur ordinateur au casque,
- 30 minutes de re-test.

Il faut souligner le fait qu'aucune pause auditive n'est possible entre la fin de l'écoute du fichier sonore et la période de re-test, ce qui n'avait pas été réalisable lors de l'étude précédente auprès des assistants de régulation médicale.

Les plannings du samedi et du dimanche optimisés, les mesures se sont étendues de 9h à 17h pour chaque journée.

Nous allons maintenant détailler les tests effectués avant puis après exposition sonore.

8.4.1. Otoscopie

Pour les deux sessions, il est nécessaire d'effectuer un examen otoscopique préalable à chaque mesure, afin d'éviter toute pathologie de l'externe externe ou moyenne pouvant perturber les tests (bouchons de cérumen, corps étranger, etc). Aucun élément gênant n'a été décelé.

8.4.2. Audiométrie tonale liminaire

À La première session d'expérimentation, c'est-à-dire le samedi, une audiométrie tonale liminaire au casque a été effectuée afin de vérifier le seuil d'audition de chaque sujet, par octave de 125 Hz à 8 kHz en méthode ascendante, via une chaîne de mesure Siemens Unity II et un casque TDH-39.

Les consignes décrites pour cet examen sont les suivantes :

« vous allez entendre des sons sous forme de bips, de plus en plus aigus au départ puis de plus en plus graves. Au moment même où vous percevez un son, aussi faible qu'il soit, appuyez sur la poire de réponse ».

Les audiogrammes obtenus seront stockés sur le logiciel Noah 4 de l'ordinateur correspondant.

8.4.3. Audiométrie vocale dans le bruit

L'audiométrie vocale dans le bruit est ensuite pratiquée, sous les mêmes conditions qu'à l'Hôpital Central, avec néanmoins des listes de mots dissyllabiques de Fournier différentes. Les résultats sont stockés directement sur BioSoundSystem.

8.4.4. SPAN Test

À la suite de l'audiométrie vocale dans le bruit, le SPAN test est effectué avec les séries de chiffres originales ou modifiées en fonction du passage du sujet, via le logiciel Distorsions. Les résultats sont reportés sur un tableur.

8.4.5. Test ANL

Le test ANL est directement mis en place à la suite du SPAN Test, le principe ayant été légèrement modifié par rapport à l'origine (voir partie théorique). Les consignes explicatives sont les suivantes :

« vous allez écouter un texte sur le haut-parleur central. Pendant l'écoute de ce test, un bruit

incompréhensible va apparaître autour de vous. Ce bruit va augmenter progressivement jusqu'à ce que vous ne compreniez plus le texte récité. C'est à ce moment précis qu'il faudra nous prévenir ».

Le test ANL reposant sur la subjectivité du sujet testé, il est important de recommencer la détermination du BNL plusieurs fois, afin d'obtenir un score ANL constant. L'augmentation du bruit perturbateur autour du niveau critique doit s'effectuer par pas de 1 dB SPL.

L'objectif de cet examen dans l'expérimentation est de déterminer si, après exposition au fichier sonore, le sujet testé a tendance ou non à réduire le niveau de bruit perturbateur pour mieux comprendre le signal vocal utile (sensibilité au bruit accrue).

8.4.6. Remarques

Comme expliqué précédemment, la notion d'attention joue un rôle majeur dans l'expérimentation : le sujet lors de sa session d'écoute du livre audio a pour consigne de suivre l'histoire, ce qui le rapproche de la réalité de suivre une activité téléphonique. En élaborant ce protocole, nous étions conscient qu'une écoute de 4 heures sans interruption était fastidieuse, mais elle était nécessaire.

C'est pourquoi nous avons décidé, à la fin de chaque période de re-test (après écoute), de poser à chaque sujet 3 à 5 questions sur l'histoire qu'il venait d'écouter, afin de vérifier son attention le long de l'écoute. Les questions portaient sur le résumé global de l'histoire, les noms des personnages principaux, des péripéties rencontrées.

Chaque sujet a répondu correctement aux séries de questions après l'écoute des deux fichiers sonores, ce qui prouve leur assiduité.

8.5. RÉSULTATS STATISTIQUES ET DISCUSSION

8.5.1. Audiométrie vocale dans le bruit

Le tableau ci-dessous regroupe les valeurs obtenues par liste (score /10) en fonction des différents RSB, avant puis après la période d'écoute du fichier sonore de 2 heures.

SUJET	2h					
	AVANT			APRES		
	RSB -3	RSB 0	RSB +3	RSB -3	RSB 0	RSB +3
Pierre	9	8	9	9	9	10
Maxime	6	9	10	6	9	10
Adrien	9	10	10	8	9	10
Julien	7	8	9	8	9	10
Terry	6	8	9	7	10	9
MOYENNE	7,4	8,6	9,4	7,6	9,2	9,8
ECART TYPE	1,36	0,80	0,49	1,02	0,40	0,40

Tableau 6 : score de compréhension à l'audiométrie vocale dans le bruit en fonction du RSB, avant puis après exposition sonore, fichier de 2 heures

Le tableau suivant nous permet d'observer la différence de score entre la mesure avant exposition sonore et celle après. En somme, un score positif signifie une diminution des performances auditives suite à l'exposition et au contraire, un score négatif montre une amélioration après exposition.

	2h		
	AVANT/APRES		
	RSB -3	RSB 0	RSB +3
	0	-1	-1
	0	0	0
	1	1	0
	-1	-1	-1
	-1	-2	0
MOYENNE	-0,20	-0,60	-0,40
ECART TYPE	0,34	0,40	0,09

Tableau 7 : différence de score d'audiométrie vocale dans le bruit par sujet avant par rapport à après exposition, fichier de 2 heures

Les deux tableaux suivants sont qualitatifs de l'écoute du fichier de 4 heures.

SUJET	4h					
	AVANT			APRES		
	RSB -3	RSB 0	RSB +3	RSB -3	RSB 0	RSB +3
Pierre	8	9	10	9	10	9
Maxime	6	8	8	6	7	8
Adrien	8	9	7	8	8	10
Julien	7	8	8	7	8	10
Terry	7	9	10	6	9	10
MOYENNE	7,2	8,6	8,6	7,2	8,4	9,4
ECART TYPE	0,75	0,49	1,20	1,17	1,02	0,80

Tableau 8 : score de compréhension à l'audiométrie vocale dans le bruit en fonction du RSB, avant puis après exposition sonore, fichier de 4 heures

	4h		
	AVANT/APRES		
	RSB -3	RSB 0	RSB +3
	-1	-1	1
	0	1	0
	0	1	-3
	0	0	-2
	1	0	0
MOYENNE	0,00	0,20	-0,80
ECART TYPE	-0,42	-0,53	0,40

Tableau 9 : différence de score d'audiométrie vocale dans le bruit par sujet avant par rapport à après exposition, fichier de 4 heures

Les diagrammes des figures 35 et 36 synthétisent les résultats obtenus à l'audiométrie vocale dans le bruit, en fonction de chaque RSB et respectivement pour les écoutes des fichiers de 2 heures puis de 4 heures (avant et après écoute).

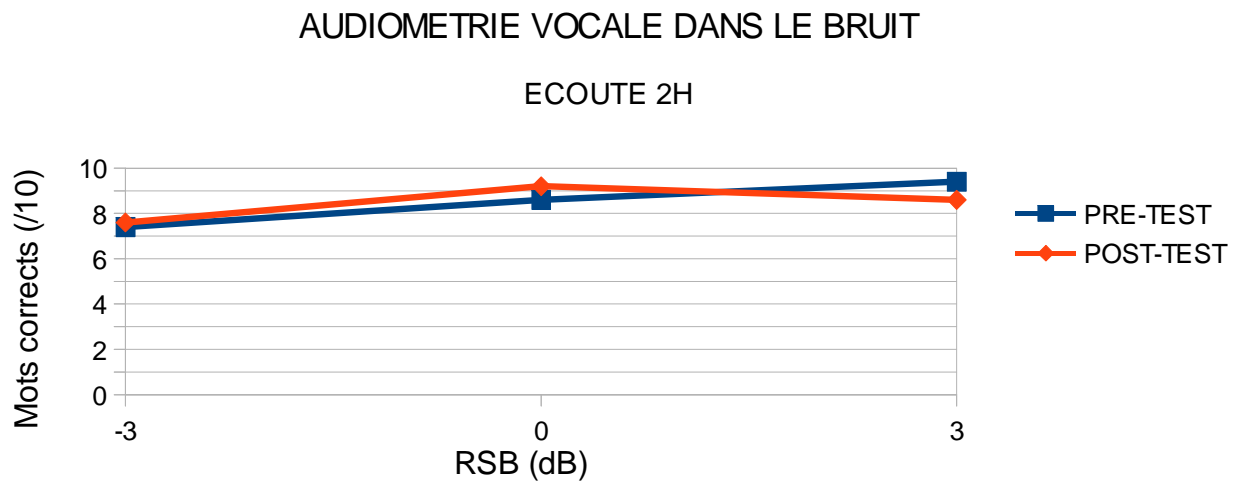


Figure 35 : scores moyens obtenus à l'audiométrie vocale dans le bruit en fonction du RSB, avant et après écoute du fichier sonore de 2 heures

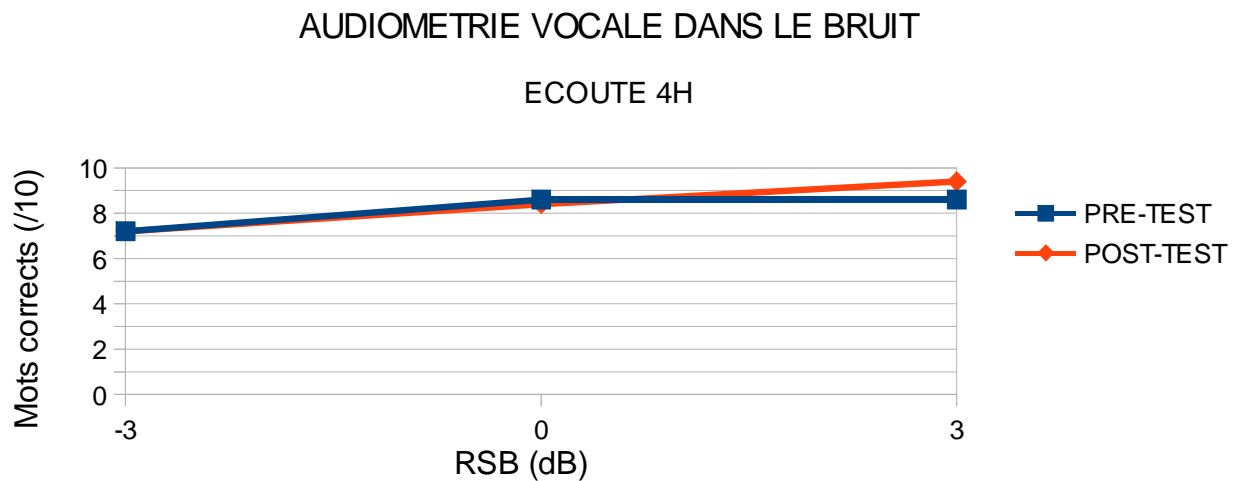


Figure 36 : scores moyens obtenus à l'audiométrie vocale dans le bruit en fonction du RSB, avant et après écoute du fichier sonore de 4 heures

8.5.2. SPAN Test

Les tableaux 10 et 11 représentent les scores obtenus pour le SPAN Test auprès de chaque sujet testé, avant et après exposition sonore aux fichiers de 2 heures puis 4 heures. La colonne « variation avant/après » correspond à la différence de score avant travail par rapport à après travail. En somme, une variation négative signifiera un score plus élevé après travail, et à contrario un score positif signifiera une baisse de capacités mentales.

SUJET	2h		VARIATION AVANT/APRES
	AVANT	APRES	
Pierre	8	7	1
Maxime	8	7	1
Adrien	6	6	0
Julien	8	8	0
Terry	6	5	1
MOYENNE	7,2	6,6	0,6
ECART TYPE	0,98	1,02	0,49

Tableau 10 : résultats du SPAN TEST, avant et après exposition, puis variation avant/après, fichier sonore de 2 heures

SUJET	4h		VARIATION AVANT/APRES
	AVANT	APRES	
Pierre	7	7	0
Maxime	6	8	-2
Adrien	6	5	1
Julien	8	8	0
Terry	6	6	0
MOYENNE	6,6	6,8	-0,2
ECART TYPE	0,80	1,17	0,98

Tableau 11 : résultats du SPAN TEST, avant et après exposition, puis variation avant/après, fichier sonore de 4 heures

8.5.3. Test ANL

Pour une question de simplicité de compréhension, les scores ANL ne seront pas présentés, mais simplement les niveaux de bruits perturbateurs réglés par chaque sujet.

Les tableaux 12 et 13 présentent les résultats obtenus auprès de chaque sujet testé, avant et après exposition sonore aux fichiers de 2 heures et de 4 heures. La colonne «variation avant/après » a la même signification que précédemment.

SUJET	2h		VARIATION AVANT/APRES
	AVANT	APRES	
Pierre	63	63	0
Maxime	67	68	-1
Adrien	67	66	1
Julien	64	63	1
Terry	67	65	2
MOYENNE	65,6	65	0,6
ECART TYPE	1,74	1,90	1,02

Tableau 12 : résultats du test ANL, avant et après exposition, puis variation avant/après, fichier sonore de 2 heures

SUJET	4h		VARIATION AVANT/APRES
	AVANT	APRES	
Pierre	65	66	-1
Maxime	64	66	-2
Adrien	65	65	0
Julien	62	62	0
Terry	65	65	0
MOYENNE	64,2	64,8	-0,6
ECART TYPE	1,17	1,47	0,8

Tableau 13 : résultats du test ANL, avant et après exposition, puis variation avant/après, fichier sonore de 4 heures

8.5.4. Observations et interprétations

Une fois de plus, nous n'obtenons pas de résultats permettant de conclure à une fatigue auditive notable. En effet, au niveau de l'audiométrie vocale dans le bruit :

- pour l'écoute du fichier de 2 heures à 72 dB (A), un score meilleur est constaté pour chaque RSB, variant de 0,2 à 0,6 points,
- pour l'écoute du fichier de 4 heures à 69 dB (A), nous observons après exposition un score égal au RSB -3 dB, une déficience de 0,2 points au RSB 0 dB et enfin une amélioration de 0,8 points au RSB +3 dB. Ces résultats ne peuvent être considérés comme favorables à la présence d'une éventuelle fatigue auditive.

Les résultats observés lors du SPAN test présentent un certain paradoxe. En effet, nous constatons qu'après l'écoute du livre audio de 2 heures, les résultats sont moins bons qu'avant exposition puisque l'on passe d'une moyenne de 7,2/8 à 6,6/8. Cette diminution pourrait être une piste soutenable pour la suite des interprétations, mais les résultats du SPAN test au niveau du fichier de 4 heures viennent remettre en cause la validité du test : nous observons une amélioration de score, de 6,6/8 à 6,8/8.

En somme, nous ne pouvons pas savoir si la mémoire de travail est réellement affectée par cette exposition sonore et ce besoin constant de concentration sur des durées longues. Le SPAN test présente plusieurs biais et bien évidemment, la population étudiée n'est pas assez grande pour fournir des statistiques dignes d'intérêt.

Intéressons-nous maintenant aux données fournies par le test ANL. Le principe est de vérifier, après exposition sonore, à quel niveau sonore le bruit perturbateur va être placé par le sujet testé. Malheureusement, ici encore, nous allons obtenir des résultats paradoxaux :

- après l'écoute du fichier de 2 heures, les sujets ont eu tendance à réduire le niveau de bruit perturbateur afin de comprendre le texte utile. Ce niveau de bruit est passé de 65,6 dB en moyenne à 65 dB. Ceci peut être considéré comme intéressant car ces résultats peuvent montrer que les sujets supportent moins le bruit subjectivement après exposition sonore,
- néanmoins, les résultats de l'écoute du fichier de 4 heures nous prouvent le contraire, en notant cette fois-ci une hausse du niveau de bruit perturbateur de 64,2 dB à 64,8 dB.

Il est ainsi difficile d'interpréter ces résultats correctement : ils sont trop proches d'une variation inférieure à 1 dB. Compte tenu de son caractère subjectif, il aurait été également intéressant de le pratiquer sur un plus grand nombre de sujets. En somme, nous pouvons conclure de ce test que l'aspect sensibilité subjective au bruit n'est pas impacté par cette exposition sonore, ainsi que le pouvoir d'intelligibilité dans le bruit.

8.5.5. Conclusions de l'étude complémentaire

Les résultats de la seconde expérimentation permettent à présent de répondre à la problématique posée :

« une mesure de fatigue auditive est-elle réalisable à l'audiométrie vocale dans le bruit dans des conditions d'exposition sonore continue, en conservant les conditions relevées auprès des assistants de régulation médicale ? »

→ malgré nos efforts pour reproduire les conditions d'exposition du personnel du SAMU, et cette fois ci en évitant aux oreilles testées d'obtenir des « pauses », aucune trace de fatigue auditive au niveau vocal n'a été décelée.

Cette seconde expérimentation a été mise en place à l'origine afin de vérifier les résultats obtenus dans l'étude initiale, en évitant le problème principal des « pauses auditives ». Néanmoins, cette deuxième partie expérimentale présente elle-même plusieurs biais :

- les biais relatifs aux tests, c'est-à-dire à l'audiométrie vocale dans le bruit et au SPAN restent inchangés, puisque nous désirions modifier le moins possible de paramètres d'une expérimentation à l'autre. Il est nécessaire de souligner également le caractère subjectif du test ANL, non-utilisé auparavant,
- le manque de sujets de l'échantillon de population étudiée : nous sommes conscients que 5 sujets ne peuvent amener des résultats statistiques probants. Cela s'explique par un manque de temps d'action et de disponibilité des sujets pour réaliser ces tests, qui ont tout de même demandé une présence totale d'environ 8 heures par sujet à la Faculté. En concentrant au maximum les passages, les plages horaires se sont rapidement étendues de 9h à 17h par journée, le nombre de testeur et le nombre de système de mesure étant limités à un seul. En finalité, uniquement des différences très significatives (de plusieurs points) auraient pu nous donner une piste sur l'éventuelle présence d'une fatigue auditive après exposition continue.

9. CONCLUSION GÉNÉRALE

En conclusion, la fatigue auditive est une pathologie temporaire existant et causant de nombreux problèmes aux personnes qui en souffrent. Son existence a pu être démontrée au niveau de l'audiométrie tonale par plusieurs recherches. De manière logique, une élévation de seuils auditifs doivent entraîner une diminution des capacités de discrimination dans le bruit.

Il semblerait que les plaintes recueillies auprès des assistants de régulation médicale du SAMU de l'Hôpital Central de Nancy ne soient pas relatives à des défaillances auditives, mais plutôt à une charge mentale de travail conséquente apportant une fatigue mentale et physique.

Aucune fatigue auditive n'a été décelée auprès de cet échantillon de population. Néanmoins, il est reconnu que des temps repos de l'oreille interne permettent aux mécanismes physiologiques de fonctionner de nouveau normalement (et d'éviter des chocs excitotoxiques).

Les conclusions de notre seconde expérimentation montrent cette fois-ci que même avec une exposition continue, avec une dose de bruit équivalente à celle des assistants, sur deux heures ou quatre heures, aucune fatigue auditive n'est apparue. Nous sommes alors en droit de remettre en cause le niveau d'exposition sonore subit par les professionnels étudiés : un $L_{EX,8h}$ de 65,8 dB (A) correspond au final à une dose de bruit normale dans une journée classique, composée de calme, de bruits de rue, de conversations plus ou moins animées. Cette exposition n'est donc peut être pas assez élevée pour impacter l'oreille de façon temporaire.

Il serait intéressant d'ouvrir cette conclusion en posant cette nouvelle problématique :

« La fatigue auditive est-elle visible à l'audiométrie vocale dans le bruit après exposition aux valeurs seuils légales au travail ($L_{EX,8h} = 85 \text{ dB (A)}$) ? »

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Dictionnaire Le Petit Larousse, Grand format, 2003
a : Définition de la parole, p 749
b : Définition du bruit, p 157
- [2] Site internet : <http://www.medecine.ups-tlse.fr/dcem3/module15/> (date de consultation : 29/07/2015)
- [3] Bonneau A., Cours magistral de phonétique, Diplôme d'Etat d'Audioprothésiste, 2ème année, Faculté de Pharmacie de Nancy, 2013/2014
a : La production des sons et le conduit vocal
b : Indices acoustiques
- [4] Site internet : <http://www.kanarchoad.com/partition.htm> (date de consultation : 29/07/2015)
- [5] Ménard N., Reproductibilité et sensibilité de l'analyse ATEC : Enveloppes temporelles, traits acoustiques et traits articulatoires, Mémoire soutenu en vue de l'obtention du Diplôme d'État d'Audioprothésiste, Université de Rennes, 2007, p 17
- [6] Goujon F., Audiométrie vocale : étude de l'intelligibilité dans le bruit chez le normo-entendant et détermination des courbes vocales de référence, Mémoire soutenu en vue de l'obtention du Diplôme d'État d'Audioprothésiste, Faculté de Pharmacie de Nancy, 2012
a : p 7-8
b : p 15
c : p 32-38
- [7] Site internet : <http://www.blog-audioprothesiste.fr/> (date de consultation : 29/07/2015)
- [8] Ducourneau J., Cours magistral d'acoustique, Diplôme Universitaire Nuisances Sonores, Faculté de Pharmacie de Nancy, 2014/2015
a : Acoustique physiologique
b : Niveaux sonores, analyse spectrale
- [9] Ducourneau J., Cours magistral d'acoustique, Diplôme d'État d'Audioprothésiste, 1ère année, Faculté de Pharmacie de Nancy, 2012/2013

- [10] Site internet : <http://www.bag.admin.ch/> (date de consultation : 30/07/2015)
- [11] Site internet : <http://www.head-acoustics.de/> (date de consultation : 04/08/2015)
- [12] Auffret M., Cours magistral de Législation, Diplôme Universitaire Nuisances Sonores, Faculté de Pharmacie de Nancy, 2014/2015
- [13] Site internet : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/sons-audiometrie/3-l-effet-de-masque/> (date de consultation : 13/08/2015)
- [14] Ploquin C., Test ANL sur le logiciel BiosoundSystem : validation et expérimentation, Mémoire soutenu en vue de l'obtention du Diplôme d'État d'Audioprothésiste, Faculté de Pharmacie de Nancy, 2013
- a : p 11
- b : p 29-34
- [15] Collège National d'Audioprothèse, Le contrôle d'efficacité prothétique, Précis d'Audioprothèse, L'appareillage de l'adulte, Tome III, les éditions du Collège National d'Audioprothèse, 2007
- [16] Trompette N., Cours magistral de Législation, Diplôme Universitaire Nuisances Sonores, Faculté de Pharmacie de Nancy, 2014/2015
- [17] L. Thiéry et P. Canetto, Évaluer et mesurer l'exposition professionnelle au bruit, Institut National de Recherche et Sécurité, ED 6035, 2009
- [18] Dole M., Perception de la parole dans le bruit et dyslexie : approches comportementale, neuroanatomique et fonctionnelle, Thèse soutenue en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences Cognitives, Université Lumière Lyon 2, 2012, p 57-62
- [19] Site internet : <http://articles.ircam.fr/textes/McAdams97b/> (date de consultation : 17/08/2015)
- [20] Girault A., Travaux Pratiques d'Audioprothèse, Diplôme d'État d'Audioprothésiste, 2ème année, Faculté de Pharmacie de Nancy, 2013/2014, p 35-36
- [21] Collège National d'Audioprothèse, Le bilan d'orientation prothétique, Précis d'Audioprothèse, L'appareillage de l'adulte, Tome I, les éditions du Collège National d'Audioprothèse, 2006
- a : p 186-187
- b : p 193
- [22] Salaün M-L., Effets d'un réentraînement de la mémoire de travail sur la compréhension orale de récit d'une adulte sourde presbycousique appareillée, Mémoire présenté

en vue de l'obtention du certificat de capacité d'orthophoniste, Université Bordeaux Segalen, 2010/2011, p 47-48

[23] Rosso V., Évaluation des fonctions auditives centrales, de l'attention et de la mémoire de travail dans la compréhension de la parole dans le bruit chez des patients presbycusiques appareillés, Mémoire soutenu en vue de l'obtention du certificat de capacité d'orthophonie, Université de Poitiers, 2012/2013, p 16-17

[24] Site internet : http://www.acoucite.org/IMG/pdf/effets_bruit-sante_2011.pdf, Les effets du bruit sur la santé, document pdf, p 7-9

[25] Eluecque H., Cours magistral d'audiologie, Les surdités professionnelles, Diplôme d'État d'Audioprothésiste, Faculté de Pharmacie de Nancy, 1ère année, 2012/2013

[26] Parietti-Winkler C., Cours magistral d'audiologie, Les acouphènes, Diplôme d'État d'Audioprothésiste, Faculté de Pharmacie de Nancy, 1ère année, 2012/2013

[27] Lurquin P., Cours magistral sur les acouphènes, Diplôme d'État d'Audioprothésiste, Faculté de Pharmacie de Nancy, 2ème année, 2013/2014

[28] R. Caussé et P. Chavasse, Études sur la fatigue auditive, Centre National d'Études des télécommunications, 1942

[29] Campo P., Cours magistral d'audiologie, Physiologie, Diplôme d'État d'Audioprothésiste, Faculté de Pharmacie de Nancy, 3ème année

[30] Site internet : <http://www.cochlea.eu/pathologie/surdites-neuro-sensorielles/> (date de consultation : 19/08/2015)

[31] T. Venet, P. Campo, C. Rumeau, A. Thomas, C. Parietti-Winkler, La mesure de la fatigue auditive périphérique par EchoScan Audio, INRS, Références santé au travail, N°140, décembre 2014, p 55-63

[32] Biotone, mode d'emploi du logiciel BioSoundSystem 3.0, édition Biotone, 2013

[33] Site internet : <http://www.biosoundsystem.com/1.html> (date de consultation : 19/08/2015)

[34] Site internet : <http://www.college-nat-audio.fr/distorsions-presentation.html> (date de consultation : 19/08/2015)

[35] Bourquin M., Rééquilibrage des listes de Fournier, Mémoire soutenu en vue de l'obtention du Diplôme d'État d'Audioprothésiste, Faculté de Pharmacie de Nancy, 2007, p 10-11

[36] Parietti-Winkler C., Cours magistral d'audiologie, Audiométrie vocale, Diplôme d'État d'Audioprothésiste, Faculté de Pharmacie de Nancy, 1ère année, 2012/2013

- [37] Site internet : http://www.canal50.be/Dossiers/Entendre_et_comprendre/ (date de consultation : 19/08/2015)
- [38] Campo P., Cours magistral d'audiologie, Presbyacousie : physiologie, facteurs environnementaux et diagnostic, Diplôme d'État d'Audioprothésiste, Faculté de Pharmacie de Nancy, 3ème année, 2014/2015
- [39] Desmette D., Hupet M., Schelstraete M-A., Van-Linden M., Adaptation en langue française du « Reading SPAN Test » de Daneman et Carpenter, Département de Psychologie expérimentale, Université catholique de Louvain, 1995
- [40] Site internet : <http://www.legifrance.gouv.fr/> (date de consultation : 21/08/2015)
- [41] Site internet : <http://madeinbroke.com/Bruel-et-Kjaer/2260> (date de consultation : 21/082015)
- [42] Friant-Michel P., Cours magistral de Mathématiques, Statistiques, Diplôme d'État d'Audioprothésiste, Faculté de Pharmacie de Nancy, 1ère année, 2012/2013
- [43] Site internet : <http://audacity.fr/> (date de consultation : 22/08/2015)
- [44] Site internet : <http://www.knarfworld.net/> (date de consultation : 22/08/2015)
- [45] Site internet : <http://www.refletsdacide.com/> (date de consultation : 22/08/2015)

ANNEXES

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : corrections acoustiques apportées par les pondération A, B, C et D par tiers d'octave	102
Annexe 2 : listes de mots dissyllabiques de J.E. FOURNIER.....	103
Annexe 3 : utilisation du SPAN Test dans le logiciel Distorsions.....	106
Annexe 4 : conte de Charles Perrault, « Riquet à la Houppe », test ANL.....	107
Annexe 5 : Audiométries tonales liminaires des sujets participants à la seconde expérimentation	112
Annexe 6 : guide d'étalonnage du KEMAR, livré par la société G.R.A.S.....	114
Annexe 7 : captures d'écran du logiciel SpectraPlus lors de la calibration des 5 systèmes ordinateurs – casques audio au moyen du KEMAR.....	116

Annexe 1 : corrections acoustiques apportées par les pondération A, B, C et D par tiers d'octave

Frequency Hz	Curve A dB	Curve B dB	Curve C dB	Tolerance Limits (dB) for Curves A, B and C		Curve D dB	Tolerance Limits (dB) for Curve D	
10	-70.4	-38.2	-14.3	3	-∞	-26.5	3.5	-∞
12.5	-63.4	-33.2	-11.2	3.0	-∞	-24.5	3.5	-∞
16	-56.7	-28.5	- 8.5	3.0	-∞	-22.5	3.5	-∞
20	-50.5	-24.2	- 6.2	3.0	-3.0	-20.5	3.5	-3.5
25	-44.7	-20.4	- 4.4	2.0	-2.0	-18.5	2.5	-2.5
31.5	-39.4	-17.1	- 3.0	1.5	-1.5	-16.5	2.0	-2.0
40	-34.6	-14.2	- 2.0	1.5	-1.5	-14.5	2.0	-2.0
50	-30.2	-11.6	- 1.3	1.5	-1.5	-12.5	2.0	-2.0
63	-26.2	- 9.3	- 0.8	1.5	-1.5	-11	2.0	-2.0
80	-22.5	- 7.4	- 0.5	1.5	-1.5	- 9	2.0	-2.0
100	-19.1	- 5.6	- 0.3	1.0	-1.0	- 7.5	1.5	-1.5
125	-16.1	- 4.2	- 0.2	1.0	-1.0	- 6.0	1.5	-1.5
160	-13.4	- 3.0	- 0.1	1.0	-1.0	- 4.5	1.5	-1.5
200	-10.9	- 2.0	0	1.0	-1.0	- 3.0	1.5	-1.5
250	- 8.6	- 1.3	0	1.0	-1.0	- 2.0	1.5	-1.5
315	- 6.6	- 0.8	0	1.0	-1.0	- 1.0	1.5	-1.5
400	- 4.8	- 0.5	0	1.0	-1.0	- 0.5	1.5	-1.5
500	- 3.2	- 0.3	0	1.0	-1.0	0	1.5	-1.5
630	- 1.9	- 0.1	0	1.0	-1.0	0	1.5	-1.5
800	- 0.8	0	0	1.0	-1.0	0	1.5	-1.5
1000	0	0	0	1.0	-1.0	0	1.5	-1.5
1250	0.6	0	0	1.0	-1.0	2.0	1.5	-1.5
1600	1.0	0	- 0.1	1.0	-1.0	5.5	1.5	-1.5
2000	1.2	- 0.1	- 0.2	1.0	-1.0	8.0	1.5	-1.5
2500	1.3	- 0.2	- 0.3	1.0	-1.0	10	1.5	-1.5
3150	1.2	- 0.4	- 0.5	1.0	-1.0	11	1.5	-1.5
4000	1.0	- 0.7	- 0.8	1.0	-1.0	11	1.5	-1.5
5000	0.5	- 1.2	- 1.3	1.5	-1.5	10	2.0	-2.0
6300	- 0.1	- 1.9	- 2.0	1.5	-2.0	8.5	2.0	-2.5
8000	- 1.1	- 2.9	- 3.0	1.5	-3.0	6.0	2.0	-3.5
10000	- 2.5	- 4.3	- 4.4	2.0	-4.0	3.0	2.5	-4.5
12500	- 4.3	- 6.1	- 6.2	3.0	-6.0	0	3.5	-6.5
16000	- 6.6	- 8.4	- 8.5	3.0	-∞	- 4.0	3.5	-∞
20000	- 9.3	-11.1	-11.2	3.0	-∞	- 7.5	3.5	-∞

Annexe 2 : listes de mots dissyllabiques de J.E. FOURNIER

AUDIOMETRIE VOCALE

Listes dissyllabiques

J.-E. Fournier

Patient

Date	Voix M F	Voix M F	Voix M F	Voix M F	Voix M F
Audiomètre	F	F	F	F	F
Opérateur	CD 2 piste				
	1 33 63	2 34 64	3 35 65	4 36 66	5 37 67
Observations	le bouchon	le râteau	le souci	le congé	le grillon
	souper	donjon	tripot	mouton	terrain
	rondin	sergent	balai	roseau	soulier
	grumeau	crémier	vallon	frelon	gazon
	rebut	niveau	saindoux	lapin	faisceau
	glaçon	refrain	brigand	traité	billet
	réchaud	veston	rouleau	caillot	rabais
	coffret	forban	défi	radis	plateau
	gamin	bûcher	bambin	bâton	cordon
	clavier	cachot	secret	ruban	ticket
	/ 10	/ 10	/ 10	/ 10	/ 10

Voix M F	Voix M F	Voix M F	Voix M F	Voix M F
CD 2 piste				
6 38 68	7 39 69	8 40 70	9 41 71	10 42 72
le pigeon	le repas	le dentier	le nougat	le poussin
carnet	complot	boulon	devis	chevreau
noyau	savon	hameau	baquet	forfait
jardin	curé	conflit	débris	mari
portrait	sanglot	bonnet	guichet	bosquet
blason	poulet	fusil	bijou	garçon
salut	chaînon	rayon	cahier	sifflet
délai	sachet	bandeau	goujon	boîtier
sabot	remous	relais	dessin	cahot
jumeau	coquin	canon	coteau	taudis
	/ 10	/ 10	/ 10	/ 10

AUDIOMETRIE VOCALE

Listes dissyllabiques

J.-E. Fournier

Patient

Date	Voix M		Voix M		Voix M		Voix M		Voix M	
Audiomètre										
Opérateur	CD 2	piste								
Observations	11	43	12	44	13	45	14	46	15	47
	le parfum		le rideau		le turbot		le cheveu		le carton	
	cachet		tampon		hoquet		citron		pruneau	
	ravin		boudin		plastron		rocher		regret	
	dragon		vacher		raisin		caveau		dément	
	lilas		débit		croyant		soldat		répit	
	récit		marteau		fourré		muguet		colon	
	couvent		cadran		taquin		bouton		respect	
	galon		requin		morceau		verrier		bilan	
	courrier		goudron		normand		fourneau		dépôt	
	crapaud		clocher		poisson		bassin		rachat	
	/ 10		/ 10		/ 10		/ 10		/ 10	

Voix M		Voix M		Voix M		Voix M		Voix M	
CD 2	piste								
16	48	17	49	18	50	19	51	20	52
le coupon		le reflet		le sapin		le cadet		le crayon	
marché		croquis		corset		bidon		château	
doyen		moineau		charbon		jury		fusain	
torrent		dégoût		serment		sursaut		délit	
festin		projet		radeau		rentier		glouton	
cliché		chausson		valet		flacon		baudet	
drapeau		reçu		cousin		bourreau		dévo	
juron		déchet		foyer		piment		combat	
pari		fragment		pardon		béton		profit	
sujet		renom		hibou		lingot		cerveau	
/ 10		/ 10		/ 10		/ 10		/ 10	

AUDIOMETRIE VOCALE

Listes dissyllabiques

J.-E. Fournier

Patient

Date	Voix M	Voix M	Voix M	Voix M	Voix M
Audiomètre					
Opérateur	CD 2 piste				
Observations	21 53	22 54	23 55	24 56	25 57
	le logis	le tronçon	le fortin	le mandat	le baron
	destin	calot	troupeau	feuillelet	chagrin
	perdreau	banquet	sermon	gâteau	tableau
	chalet	mépris	navet	voilier	flocon
	fagot	jasmin	cadeau	fuseau	débat
	toupet	décret	fripon	volcan	buffet
	compas	taureau	témoin	chariot	dépit
	héron	patron	cornet	jalon	bouffon
	tricot	chemin	tapis	civet	vaisseau
	froment	fracas	convoi	gourdin	dossier
	/ 10	/ 10	/ 10	/ 10	/ 10

Voix M	Voix M	Voix M	Voix M	Voix M
CD 2 piste				
26 58	27 59	28 60	29 61	30 62
le corbeau	le rubis	le talon	le réseau	le gigot
fossé	volet	joyau	buisson	contrat
clairon	frisson	filet	pavé	fardeau
sentier	museau	diamant	genou	briquet
jarret	casier	coussin	bourgeon	melon
ruisseau	wagon	danger	gradin	réduit
ciment	grelot	manchot	filon	brochet
péché	jargon	degré	dîner	champion
début	gousset	couteau	traîneau	palais
maillot	monceau	neveu	capot	pinçon
/ 10	/ 10	/ 10	/ 10	/ 10

Annexe 3 : utilisation du SPAN Test dans le logiciel Distorsions

Distorsions - [Collège National d'Audioprothèse]

Confirmation des seuils d'audition
 Distorsions de la sensation d'intensité
 Distorsions de la sensation de hauteur
 Distorsions de la sensation temporelle
Tests particuliers
 Procédure de Calibrage

Démarrer le test

espace

OG

↑

65 dB

↓

Canal 1

OD

↑

65 dB

↓

Canal 2

Difficulté

◀ 3 chiffres ▶

	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0							
10							
20							
30							
40							
50							
60							
70							
80							
90							
100							
110							

O.D. 250 500 750 1k 1k5 2K 3K 4K 6K

Tone D. T.

O.G.

Tone D. T.

SPAN 7 **Test SPAN : Valeurs selon âge**

Adultes : N = 7 +/-2

à 7 ans : N = 5, à 4-5 ans : N = 4

à 3 ans : N = 3

Consigne à indiquer au patient pour le bon déroulement du test :

Test SPAN

"Vous allez entendre des séries de chiffres.

Veillez les répéter tels que vous les entendez."

Annexe 4 : conte de Charles Perrault, « Riquet à la Houppe », test ANL

Il était une fois une reine qui accoucha d'un fils, si laid et si mal fait, qu'on douta longtemps s'il avait forme humaine. Une fée qui se trouva à sa naissance assura qu'il ne laisserait pas d'être aimable, parce qu'il aurait beaucoup d'esprit; elle ajouta même qu'il pourrait, en vertu du don qu'elle venait de lui faire, donner autant d'esprit qu'il en aurait à celle qu'il aimerait le mieux. Tout cela consola un peu la pauvre reine, qui était bien affligée d'avoir mis au monde un si vilain marmot. Il est vrai que cet enfant ne commença pas plus tôt à parler qu'il dit mille jolies choses, et qu'il avait dans toutes ses actions je ne sais quoi de si spirituel, qu'on en était charmé. J'oubliais de dire qu'il vint au monde avec une petite houppe de cheveux sur la tête, ce qui fit qu'on le nomma Riquet à la houppe, car Riquet était le nom de la famille. Au bout de sept ou huit ans la reine d'un royaume voisin accoucha de deux filles. La première qui vint au monde était plus belle que le jour : la reine en fut si aise, qu'on appréhenda que la trop grande joie qu'elle en avait ne lui fit mal. La même fée qui avait assisté à la naissance du petit Riquet à la houppe était présente, et pour modérer la joie de la reine, elle lui déclara que cette petite princesse n'aurait point d'esprit, et qu'elle serait aussi stupide qu'elle était belle. Cela mortifia beaucoup la reine; mais elle eut quelques moments après un bien plus grand chagrin, car la seconde fille dont elle accoucha se trouva extrêmement laide. - Ne vous affligez point tant, Madame, lui dit la fée ; votre fille sera récompensée d'ailleurs, et elle aura tant d'esprit, qu'on ne s'apercevra presque pas qu'il lui manque de la beauté. - Dieu le veuille, répondit la reine, mais n'y aurait-il point moyen de faire avoir un peu d'esprit à l'aînée qui est si belle ? - Je ne puis rien pour elle, Madame, du côté de l'esprit, lui dit la fée, mais je puis tout du côté de la beauté; et comme il n'y a rien que je ne veuille faire pour votre satisfaction, je vais lui donner pour don de pouvoir rendre beau qui lui plaira. A mesure que ces deux princesses devinrent grandes, leurs perfections crûrent aussi avec elles, et on ne parlait partout que de la beauté de l'aînée, et de l'esprit de la cadette. Il est vrai aussi que leurs défauts augmentèrent beaucoup avec l'âge. La cadette enlaidissait à vue d'œil, et l'aînée devenait plus stupide de jour en jour. Où elle ne répondait rien à ce qu'on lui demandait, ou elle disait une sottise. Elle était avec cela si maladroite qu'elle n'eût pu ranger quatre porcelaines sur le bord d'une cheminée sans en casser une, ni boire un verre d'eau sans en répandre la moitié sur ses habits. Quoique la beauté soit un grand avantage chez une jeune femme, cependant la cadette l'emportait presque toujours sur son aînée dans toutes les soirées. D'abord on allait du côté de 2 la

plus belle pour la voir et pour l'admirer, mais bientôt après, on allait à celle qui avait le plus d'esprit, pour lui entendre dire mille choses agréables, et on était étonné qu'en moins d'un quart d'heure l'aînée n'avait plus personne auprès d'elle, et que tout le monde s'était rangé autour de la cadette. L'aînée, quoique fort stupide, le remarqua bien, et elle eût donné sans regret toute sa beauté pour avoir la moitié de l'esprit de sa sœur. La reine, toute sage qu'elle était, ne put s'empêcher de lui reprocher plusieurs fois sa bêtise, ce qui pensa faire mourir de douleur cette pauvre princesse. Un jour qu'elle s'était retirée dans un bois pour y plaindre son malheur, elle vit venir à elle un petit homme fort laid et fort désagréable, mais vêtu très magnifiquement. C'était le jeune prince Riquet à la houppe, qui étant devenu amoureux d'elle d'après ses portraits qui circulaient par tout le monde, avait quitté le royaume de son père pour avoir le plaisir de la voir et de lui parler. Ravi de la rencontrer ainsi toute seule, il l'aborde avec tout le respect et toute la politesse imaginables. Ayant remarqué, après lui avoir fait les compliments ordinaires, qu'elle était fort mélancolique, il lui dit: - Je ne comprends point, Madame, comment quelqu'un aussi belle que vous l'êtes peut être aussi triste que vous le paraissez; car, quoique je puisse me vanter d'avoir vu une infinité de belles dames, je puis dire que je n'en ai jamais vu dont la beauté approche de la vôtre. - Cela vous plaît à dire, Monsieur, lui répondit la princesse, et en demeure là. - La beauté, reprit Riquet à la houppe, est un si grand avantage qu'il doit tenir lieu de tout le reste; et quand on le possède, je ne vois pas qu'il y ait rien qui puisse nous affliger beaucoup. - J'aimerais mieux, dit la princesse, être aussi laide que vous et avoir de l'esprit, que d'avoir de la beauté comme j'en ai, et être bête autant que je le suis. - Il n'y a rien, Madame, qui marque davantage qu'on a de l'esprit, que de croire n'en pas avoir, et il est de la nature de ce bien-là, que plus on en a, plus on croit en manquer. - Je ne sais pas cela, dit la princesse, mais je sais bien que je suis fort bête, et c'est de là que vient le chagrin qui me tue. - Si ce n'est que cela, Madame, qui vous afflige, je puis aisément mettre fin à votre douleur. - Et comment ferez-vous ? dit la princesse. - J'ai le pouvoir, Madame, dit Riquet à la houppe, de donner de l'esprit autant qu'on en saurait avoir à celle que je dois aimer le plus; et comme vous êtes, Madame, celle-là, il n'en tiendra qu'à vous que vous n'ayez autant d'esprit qu'on en peut avoir, pourvu que vous vouliez bien m'épouser. La princesse demeura toute interdite, et ne répondit rien. - Je vois, reprit Riquet à la houppe, que cette proposition vous fait de la peine, et je ne m'en étonne pas; mais je vous donne un an tout entier pour vous y résoudre. La princesse avait si peu d'esprit, et en même temps une si grande envie d'en avoir, qu'elle s'imagina que la fin de cette année ne viendrait jamais; de sorte qu'elle accepta la proposition qui lui était faite. Elle n'eut pas plus tôt promis à Riquet à la houppe qu'elle l'épouserait dans un an à pareil

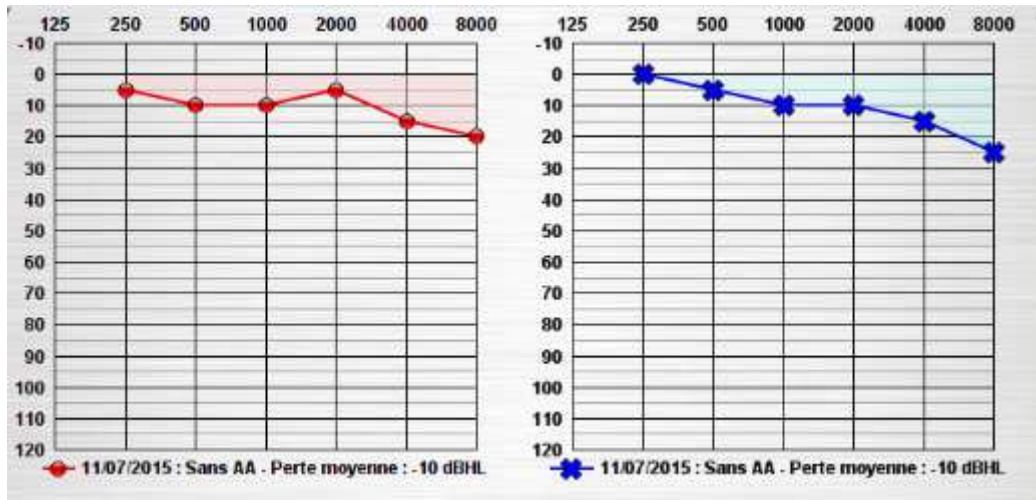
jour, qu'elle se sentit tout autre qu'elle n'était auparavant; elle se trouva une facilité incroyable à dire tout ce qui lui plaisait, et à le dire d'une manière fine, aisée et naturelle. Elle commença dès ce moment une conversation galante et soutenue avec Riquet à la houppe, où elle brilla d'une telle force que Riquet à la houppe crut lui avoir donné plus d'esprit qu'il ne s'en était réservé pour lui-même. Quand elle fut retournée au palais, toute la cour ne savait que penser d'un changement si subit et si extraordinaire, car autant qu'on lui avait entendu dire d'impertinences auparavant, autant lui entendait-on dire des choses bien sensées et infiniment spirituelles. 3 Toute la cour en eut une joie qui ne peut s'imaginer; il n'y eut que sa cadette qui n'en fut pas bien aise, parce que n'ayant plus sur son aînée l'avantage de l'esprit, elle ne paraissait plus auprès d'elle qu'une guenon fort désagréable. Le roi se conduisait selon ses avis, et allait même quelquefois tenir le conseil dans son appartement. Le bruit de ce changement s'étant répandu, tous les jeunes princes des royaumes voisins firent grands efforts pour s'en faire aimer, et presque tous la demandèrent en mariage; mais elle n'en trouvait point qui eût assez d'esprit, et elle les écoutait tous sans s'engager avec l'un d'eux. Cependant il en vint un si puissant, si riche, si spirituel et si bien fait, qu'elle ne put s'empêcher d'avoir de la bonne volonté pour lui. Son père, s'en étant aperçu, lui dit qu'il la faisait la maîtresse sur le choix d'un époux, et qu'elle n'avait qu'à se déclarer. Comme plus on a d'esprit et plus on a de peine à prendre une ferme résolution sur cette affaire, elle demanda, après avoir remercié son père, qu'il lui donnât du temps pour y penser. Elle alla par hasard se promener dans le même bois où elle avait trouvé Riquet à la houppe, pour rêver plus commodément à ce qu'elle avait à faire. Dans le temps qu'elle se promenait, rêvant profondément, elle entendit un bruit sourd sous ses pieds, comme de plusieurs gens qui vont et viennent et qui agissent. Ayant prêté l'oreille plus attentivement, elle entendit que l'un disait : - Apporte-moi cette marmite, l'autre : - Donne-moi cette chaudière, l'autre : - Mets du bois dans ce feu. La terre s'ouvrit dans le même temps, et elle vit sous ses pieds comme une grande cuisine pleine de cuisiniers, de marmitons et de toutes sortes d'officiers nécessaires pour faire un festin magnifique. Il en sortit une bande de vingt ou trente rôisseurs, qui allèrent se camper dans une allée du bois autour d'une table fort longue, et qui tous, la lardoire à la main, et la queue de renard sur l'oreille, se mirent à travailler en cadence au son d'une chanson harmonieuse. La princesse, étonnée de ce spectacle, leur demanda pour qui ils travaillaient. - C'est, Madame, lui répondit le plus apparent de la bande, pour le prince Riquet à la houppe, dont les noces se feront demain. La princesse, encore plus surprise qu'elle ne l'avait été, et se ressouvenant tout à coup qu'il y avait un an qu'à pareil jour elle avait promis d'épouser le prince Riquet à la houppe, elle pensa tomber de son haut. Ce qui faisait qu'elle ne

s'en souvenait pas, c'est que, quand elle fit cette promesse, elle était bête, et qu'en prenant le nouvel esprit que le prince lui avait donné, elle avait oublié toutes ses sottises. Elle n'eut pas fait trente pas en continuant sa promenade, que Riquet à la houppe se présenta à elle, brave, magnifique, et comme un prince qui va se marier. -"Vous me voyez, dit-il, Madame, exact à tenir ma parole, et je ne doute point que vous ne veniez ici pour exécuter la vôtre, et me rendre, en me donnant la main, le plus heureux de tous les hommes." -" Je vous avouerai franchement, " répondit la princesse, " que je n'ai pas encore pris ma décision là-dessus, et que je ne crois pas pouvoir jamais la prendre comme vous la souhaitez." -" Vous m'étonnez, Madame», lui dit Riquet à la houppe. -" Je le crois», dit la princesse, " et assurément si j'avais affaire à un brutal, à un homme sans esprit, je me trouverais bien embarrassée. Une princesse n'a que sa parole, me dirait-il, et il faut que vous m'épousiez, puisque vous me l'avez promis; mais comme celui à qui je parle est l'homme du monde qui a le plus d'esprit, je suis sûre qu'il entendra raison. Vous savez que, quand j'étais bête, je ne pouvais néanmoins me résoudre à vous épouser; comment voulez-4 vous qu'ayant l'esprit que vous m'avez donné, qui me rend encore plus difficile en gens que je n'étais, je prenne aujourd'hui une .décision que je n'ai pu prendre dans ce temps-là ? Si vous pensiez tout de bon à m'épouser, vous avez eu grand tort de m'ôter ma bêtise, et de me faire voir plus clair que je ne voyais." -" Si un homme sans esprit" , répondit Riquet à la houppe, " serait bien reçu, comme vous venez de le dire, à vous reprocher votre manque de parole, pourquoi voulez-vous, Madame, que je n'en use pas de même, dans une chose où il y va de tout le bonheur de ma vie ? Est-il raisonnable que ceux qui ont de l'esprit soient d'une pire condition que ceux qui n'en ont pas ? Pouvez-vous le prétendre, vous qui en avez tant, et qui avez tant souhaité d'en avoir ? Mais venons au fait, s'il vous plaît : à la réserve de ma laideur, y a-t-il quelque chose en moi qui vous déplaît ? Etes-vous mal contente de ma naissance, de mon esprit, de mon humeur, et de mes manières ?" -" Nullement», répondit la princesse, " j'aime en vous tout ce que vous venez de me dire." -" Si cela est ainsi», reprit Riquet à la houppe, " je vais être heureux, puisque vous pouvez me rendre le plus aimable de tous les hommes." -" Comment cela se peut-il ?" lui dit la Princesse. -" Cela se fera», répondit Riquet à la houppe, " si vous m'aimez assez pour souhaiter que cela soit; et afin, Madame, que vous n'en doutiez pas, sachez que la même fée qui au jour de ma naissance me fit le don de pouvoir rendre spirituelle qui me plairait, vous a aussi fait le don de pouvoir rendre beau celui que vous aimerez, et à qui vous voudrez bien faire cette faveur." -" Si la chose est ainsi" , dit la princesse, " je souhaite de tout mon coeur que vous deveniez le prince du monde le plus beau et le plus aimable; et je vous en fais le don autant qu'il m'est possible." La princesse n'eut pas plus tôt

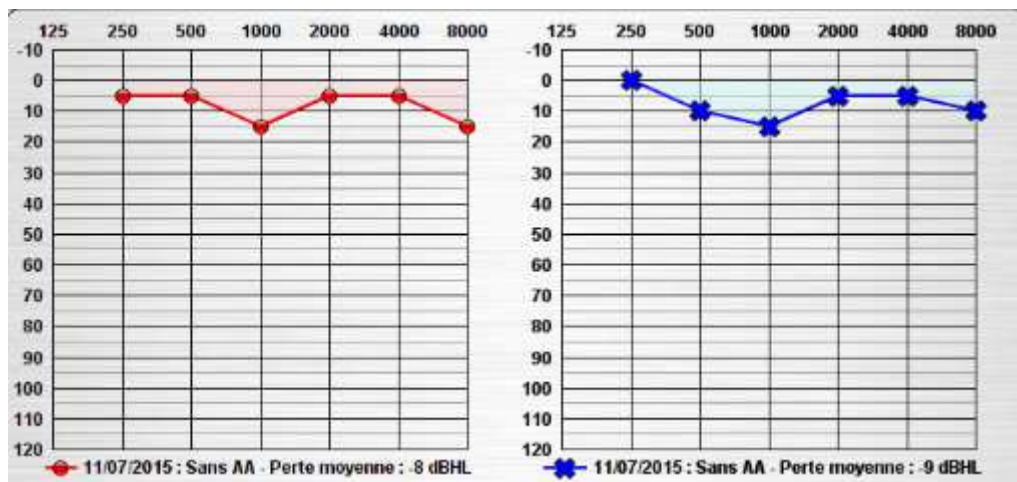
prononcé ces paroles, que Riquet à la houppe parut à ses yeux l'homme du monde le plus beau, le mieux fait, et le plus aimable qu'elle eût jamais vu. Quelques-uns assurent que ce ne furent point les charmes de la fée qui opérèrent, mais que l'amour seul fit cette métamorphose. Ils disent que la princesse ayant fait réflexion sur la persévérance de son amant, sur sa discrétion, et sur toutes les bonnes qualités de son âme et de son esprit, ne vit plus la difformité de son corps, ni la laideur de son visage, que sa bosse ne lui sembla plus que le bon air d'un homme qui fait le gros dos; et qu'au lieu que jusqu'alors elle l'avait vu boiter effroyablement, elle ne lui trouva plus qu'un certain air penché qui la charmait; ils disent encore que ses yeux, qui étaient louches, ne lui en parurent que plus brillants, que leur dérèglement passa dans son esprit pour la marque d'un violent excès d'amour, et qu'enfin son gros nez rouge eut pour elle quelque chose de martial et d'héroïque. Quoiqu'il en soit, la princesse lui promit sur-le-champ de l'épouser, pourvu qu'il en obtint le consentement du roi son père. Le roi ayant su que sa fille avait beaucoup d'estime pour Riquet à la houppe, qu'il connaissait d'ailleurs pour un prince très spirituel et très sage, le reçut avec plaisir pour son gendre. Dès le lendemain les noces furent faites, ainsi que Riquet à la houppe l'avait prévu, et selon les ordres qu'il en avait donnés longtemps auparavant.

Annexe 5 : Audiométries tonales liminaires des sujets participants à la seconde expérimentation

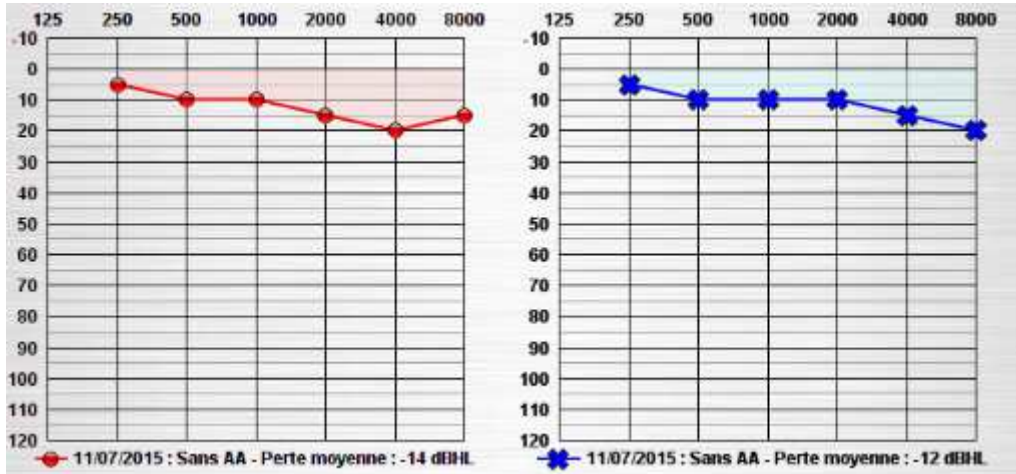
Adrien :



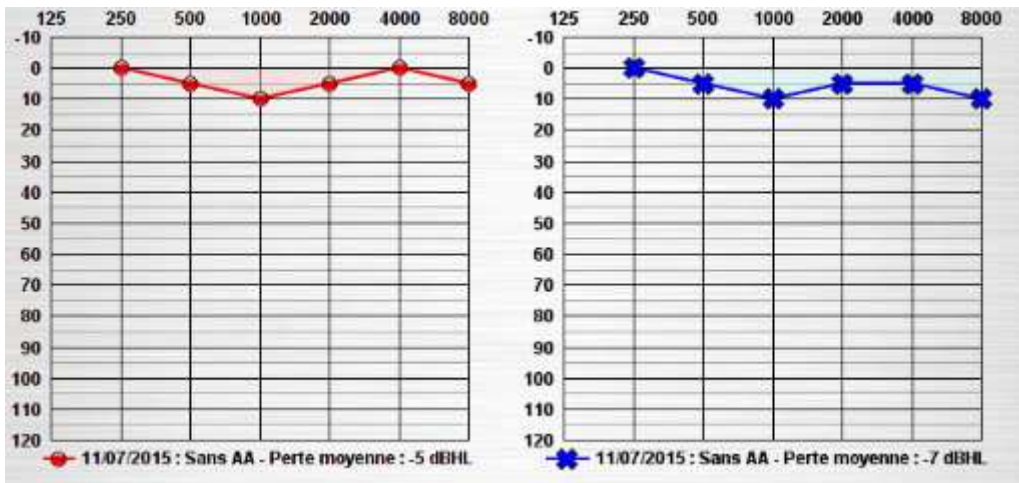
Julien :



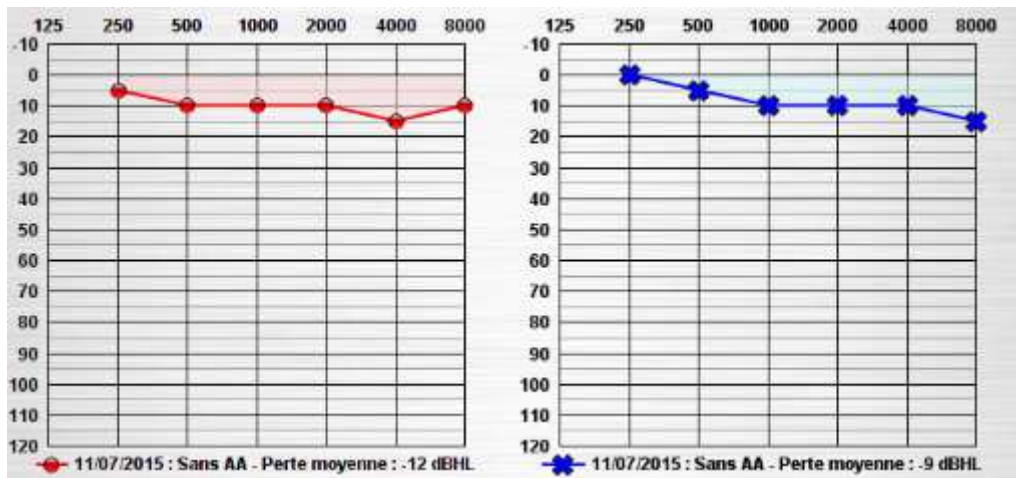
Maxime :



Pierre :



Terry :



Annexe 6 : guide d'étalonnage du KEMAR, livré par la société G.R.A.S.

G.R.A.S.
SOUND & VIBRATION

Calibrating the Artificial Ear

Before performing any test, you must calibrate the artificial ear.

You will need the following (available from G.R.A.S.):

- A pistonphone with a ½" coupler, e.g. G.R.A.S. 42AP Intelligent Pistonphone (recommended) or G.R.A.S. 42AA Pistonphone.
- An adapter (RA0157) for use with the Pistonphone (required for setups based on the RA0045 Ear Simulator according to IEC 60318-4 – see Fig. 31).

It is assumed that the components in each setup are connected to suitable external equipment (e.g. an audio analyzer) via the interconnections described in "Cabling and Connections".

For information about operating the pistonphones, refer to their instruction manuals.

Calibrating a Setup with Ear Simulator

Use the Ear Simulator with one of the following ear canal extensions:

- RA0237 Ear Canal Extension – with straight ear canal extension for testing BTE or full-concha hearing aids.

Note: Ear-mould simulator must be absent.

- RA0238 Ear Canal Extension – with VA-style tapered ear canal extension for testing ITE, ITC and CIC hearing aids.

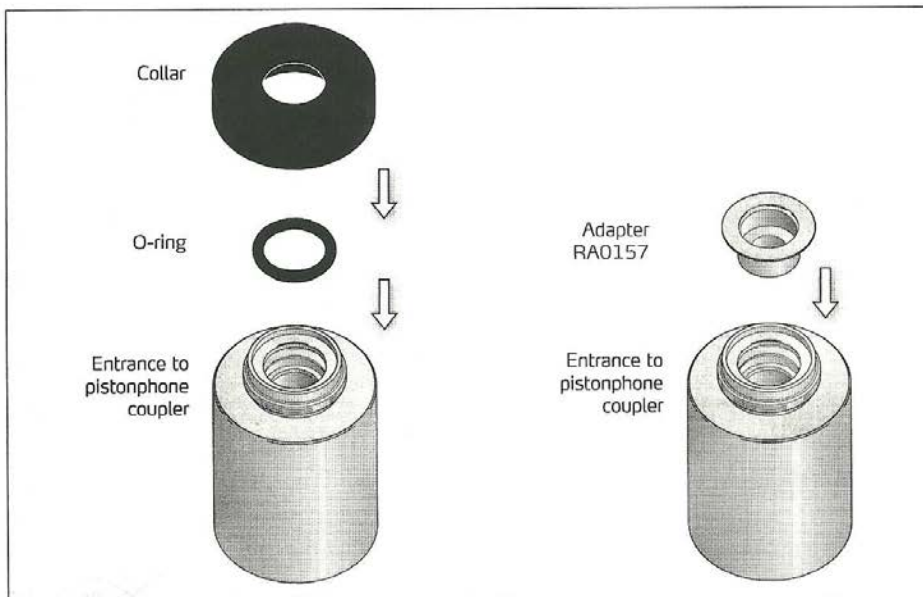


Fig. 31. Fitting the Adapter RA0157 to the Pistonphone

You will be calibrating the ear simulator and its holder as a whole with a pistonphone fitted with a ½" coupler and the RA0157 Adapter. This, in effect, increases the coupler volume such that the signal from the Pistonphone will be reduced by 0.62 dB.

1. Loosen the pistonphone collar, and remove the O-ring (Fig. 31, left).
2. Push the Adapter RA0157 all the way into the Coupler entrance (Fig. 31, right).
3. Remove the KEMAR Pinna to expose the entrance to the ear canal extension (middle ear).
4. Place the Pistonphone over the entrance to the ear-canal extension (Fig. 32), push it gently down to the stop, hold it there, and switch it on.

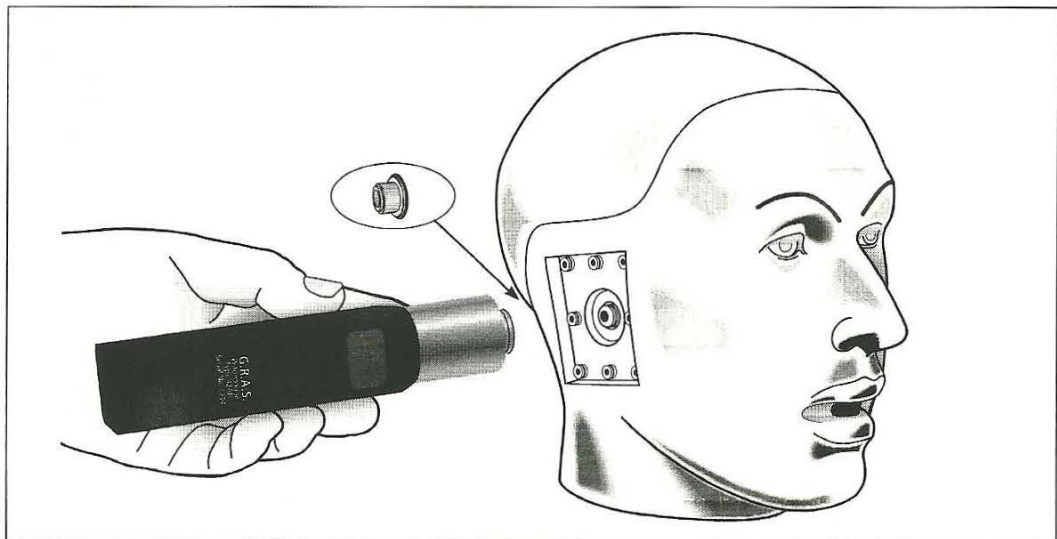


Fig. 32. Place the Pistonphone over the entrance to the ear-canal extension, push it gently down to the stop, hold it there, and switch on

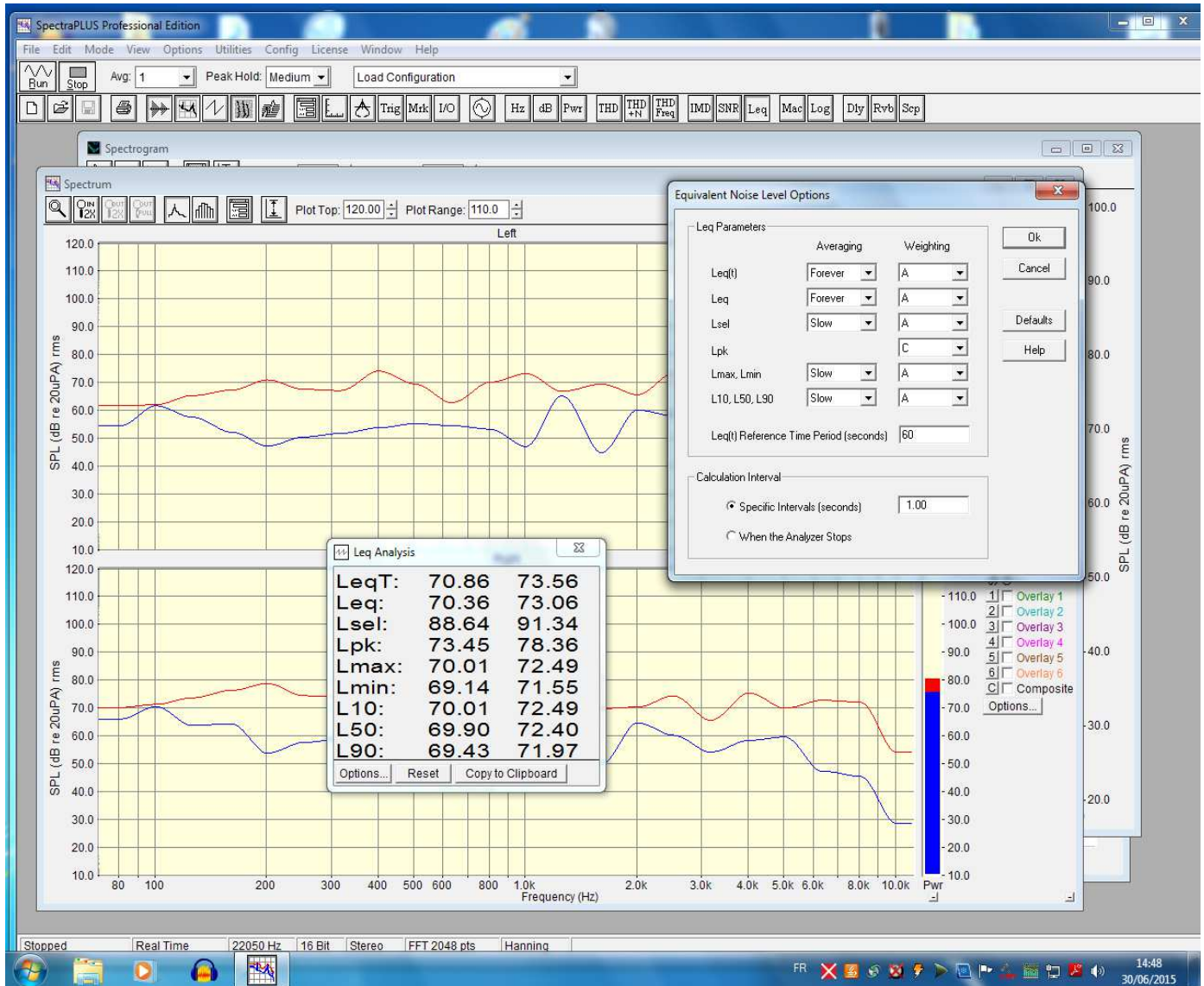
5. Set the analyzer to either wide band or to the 1/3-octave band whose center frequency is 250Hz.
6. When conditions are stable, adjust the analyzer so that it correctly gauges the Pistonphone signal (nominally $114.00 - 0.62 = 113.38$ dB).

Important. Refer to the Pistonphone manual for making barometric corrections.

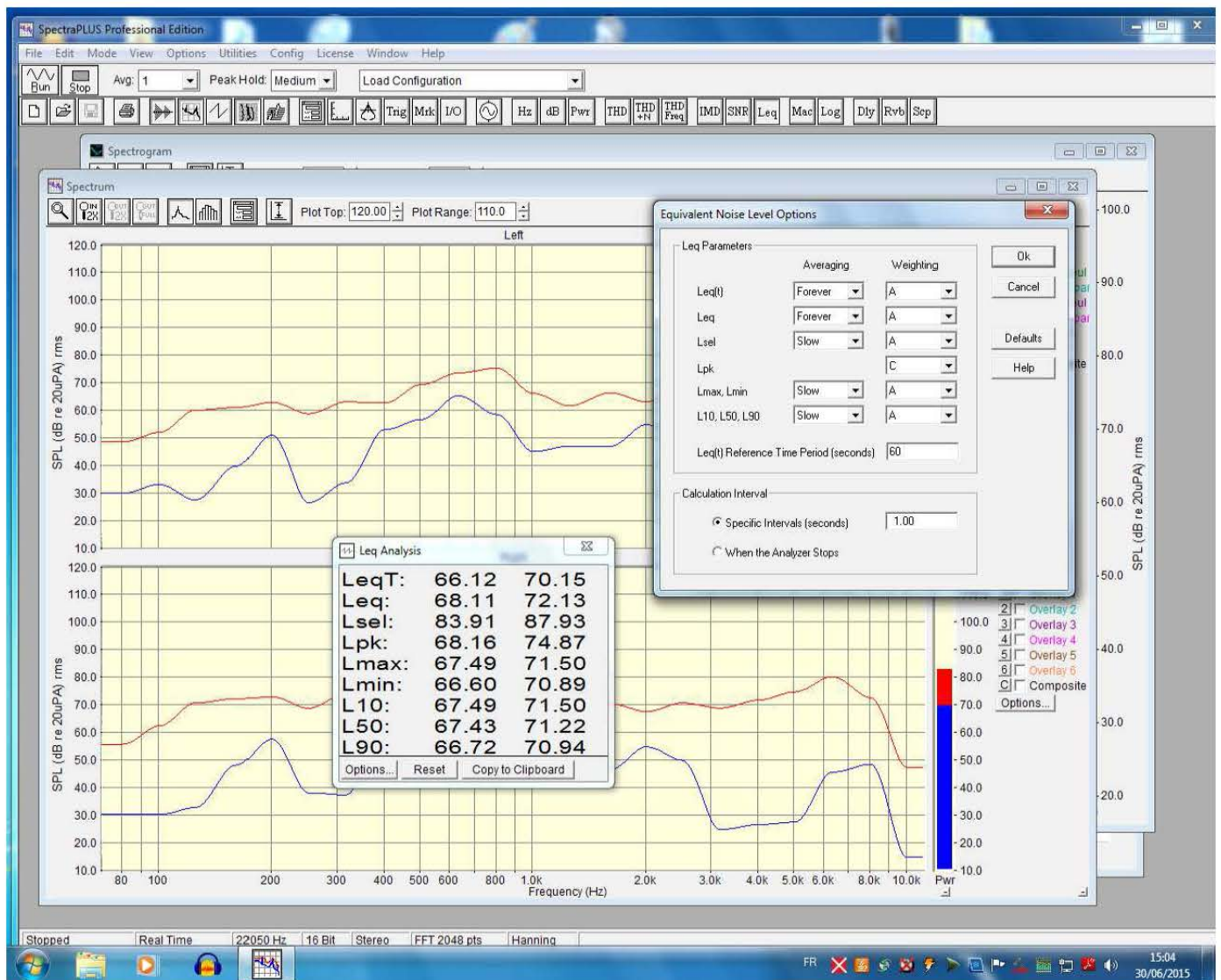
7. Switch off the Pistonphone, and remove it from the ear canal extension.
8. Remove the Adapter RA0157 from the Pistonphone.
9. Re-assemble the Pistonphone.

Annexe 7 : captures d'écran du logiciel SpectraPlus lors de la calibration des 5 systèmes ordinateurs – casques audio au moyen du KEMAR

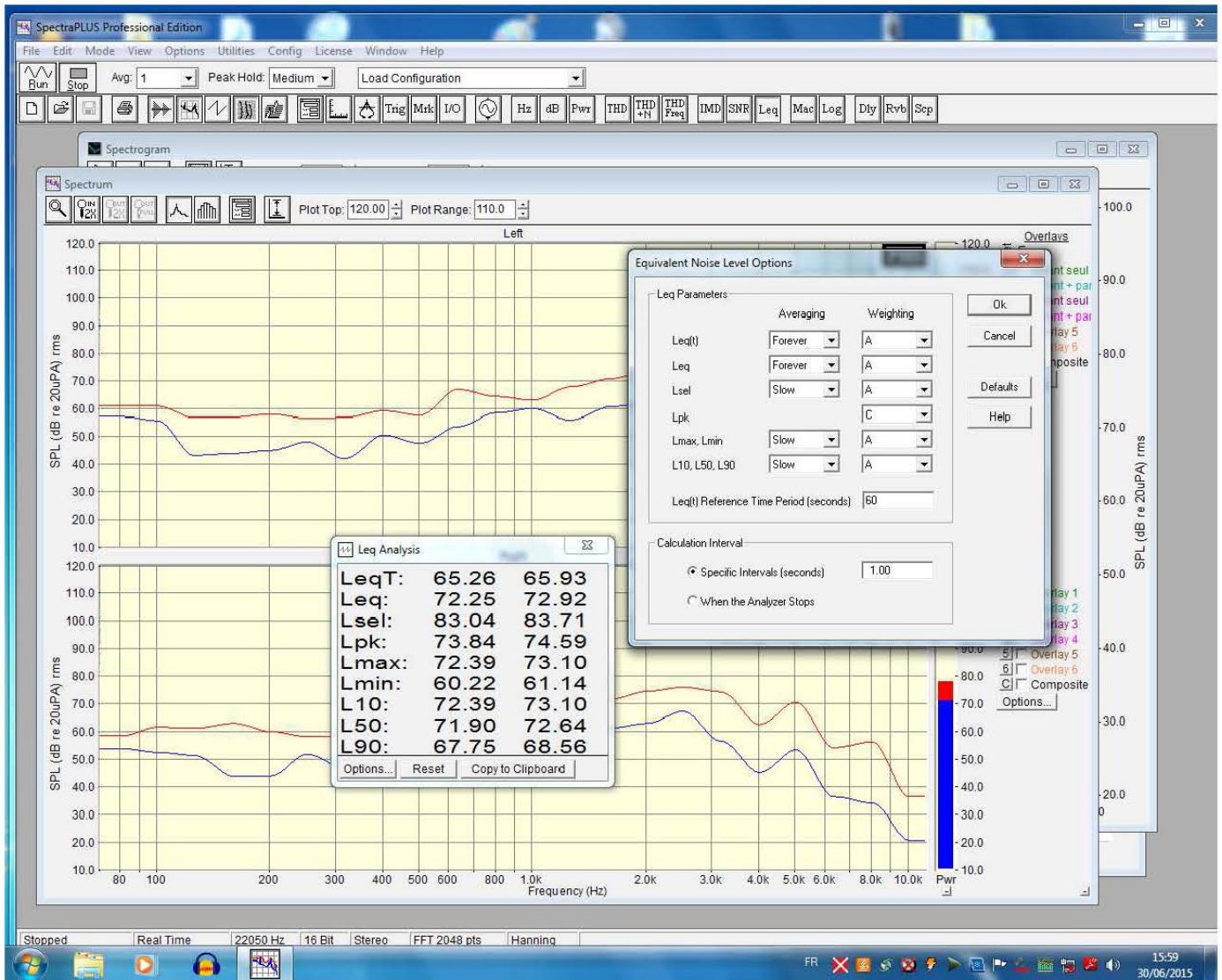
Ordinateur n°1, fichier de 2 heures :



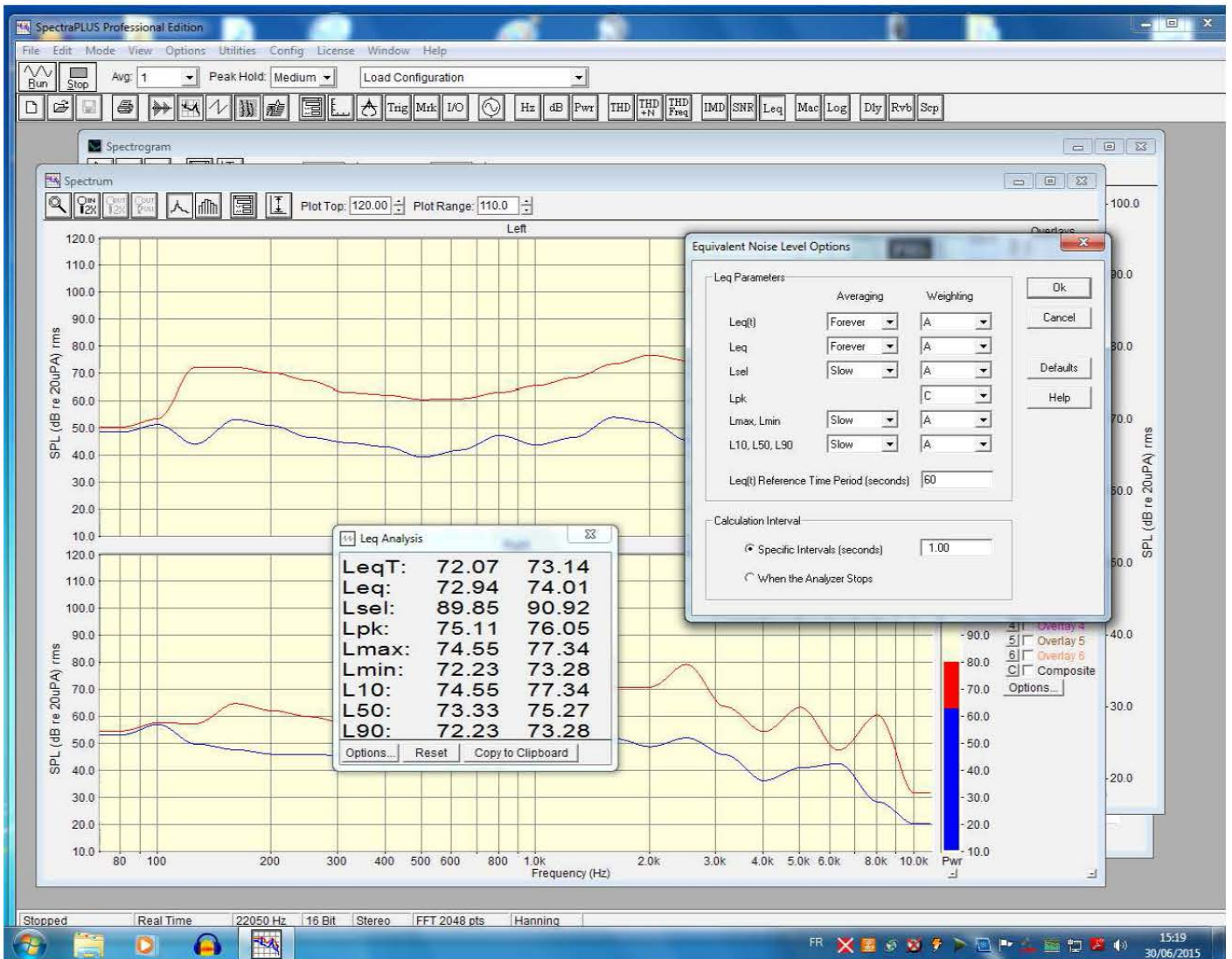
Ordinateur 1, fichier de 4 heures :



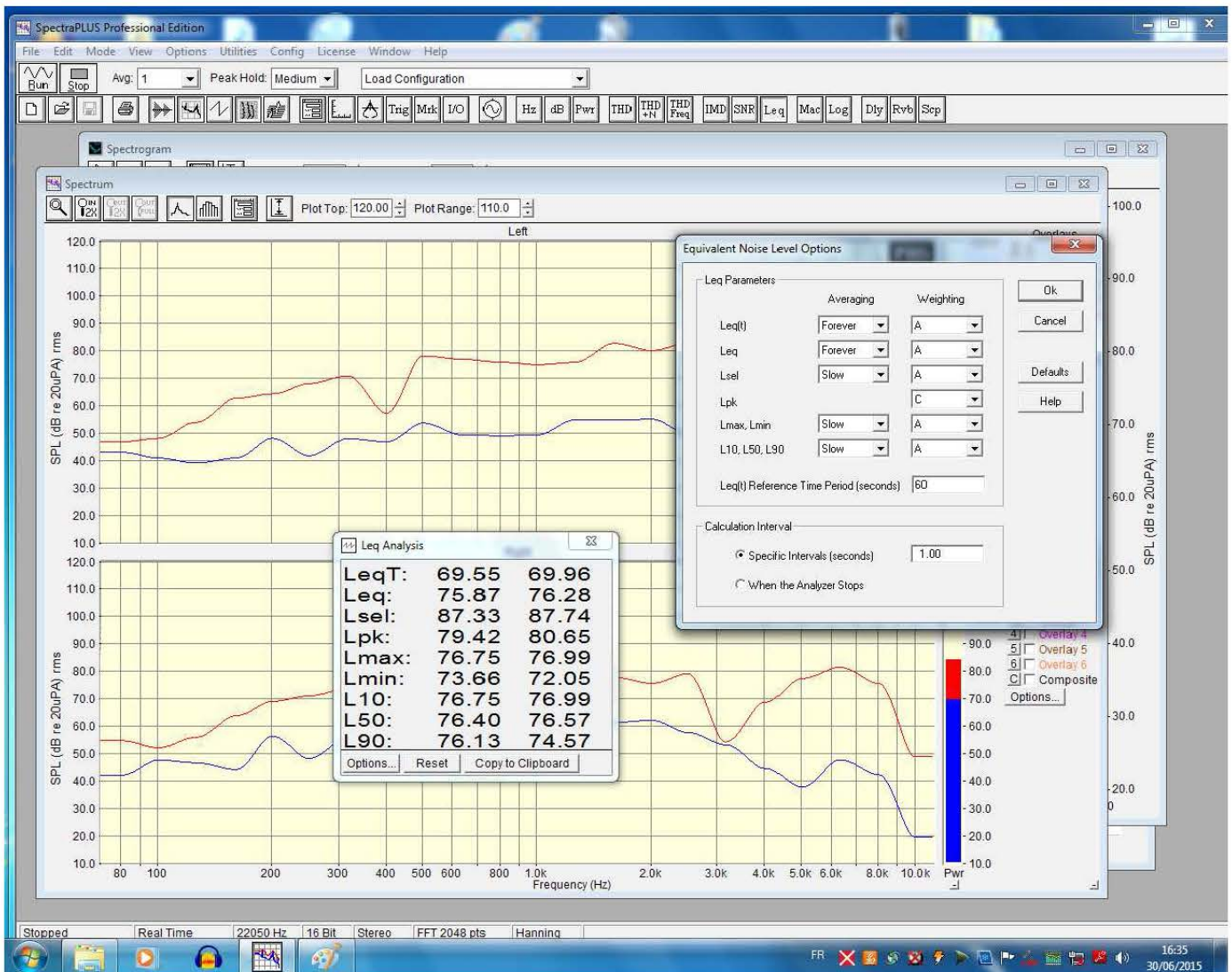
Ordinateur 2, fichier de 2 heures :



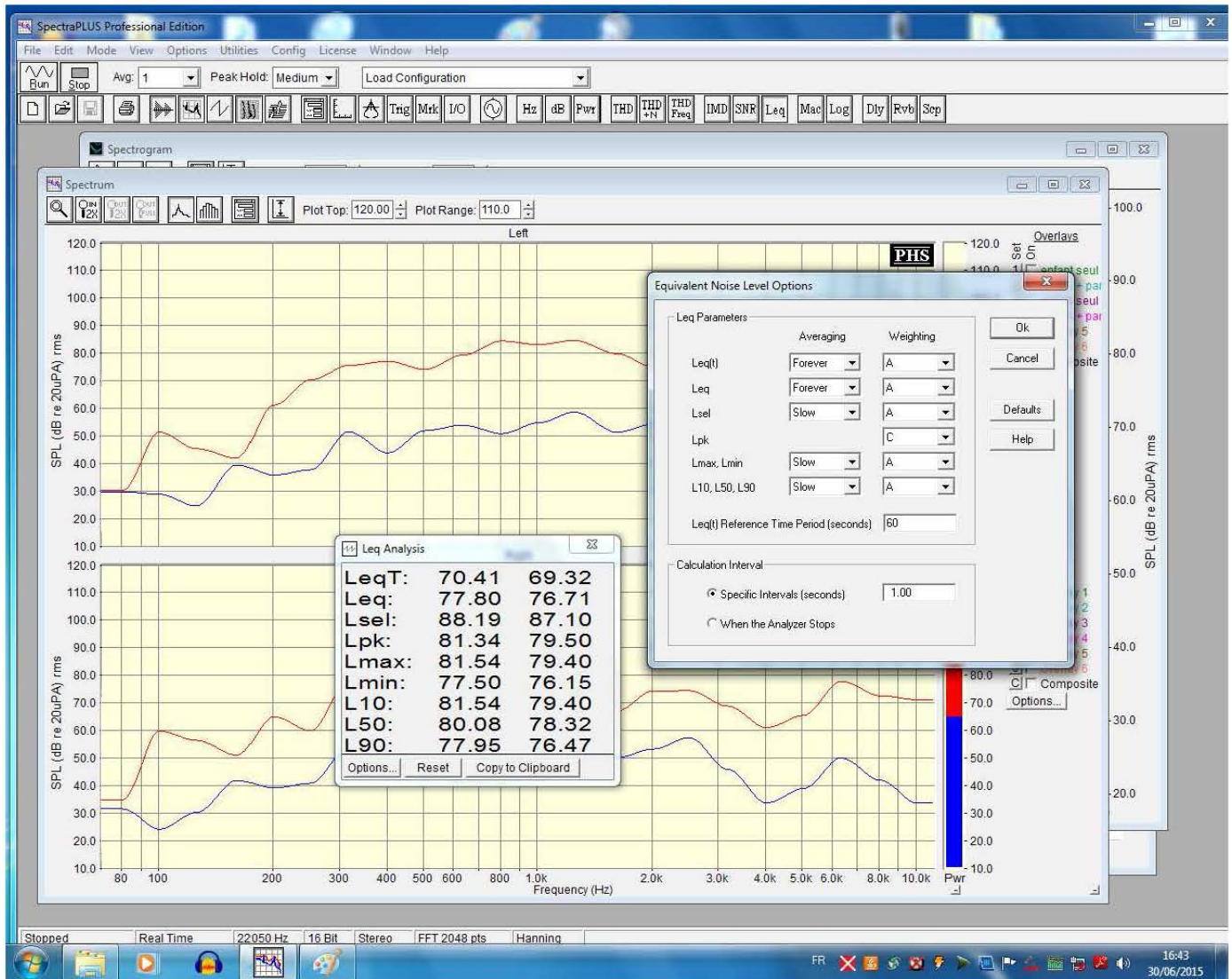
Ordinateur 3, fichier de 2 heures :



Ordinateur 4, fichier de 4 heures :



Ordinateur 5, fichier de 2 heures :



Résumé

La fatigue auditive correspond à une diminution temporaire du seuil de l'audition suite à une exposition sonore continue et prolongée. Bien que temporaire, cette fatigue si elle est répétée peut provoquer au fil du temps une diminution définitive des seuils audiométriques.

Déjà observée de façon périphérique et par des examens objectifs, nous allons nous intéresser dans ce mémoire aux impacts que peuvent provoquer cette fatigue auditive dans des conditions plus proches de la vie courantes, via comme examen principal l'audiométrie vocale en présence de bruit.

Cette fatigue auditive s'associe-t-elle également à une diminution des capacités de la mémoire de travail à court terme ?

Dans ce mémoire, nous nous intéressons à une population de travailleurs exposés au bruit lors de leur activité professionnelle : les assistants de régulation médicale de l'unité du SAMU de l'Hôpital Central de Nancy.

Les expérimentations seront effectuées au sein de l'Hôpital Central de façon à observer si effectivement, une fatigue auditive est visible aux niveaux périphérique et central en comparant les performances avant puis après la période de travail.

Mots clés :

audition

fatigue auditive

audiométrie vocale dans le bruit

SPAN test

test ANL

exposition sonore

intelligibilité dans le bruit