



## 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](mailto: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.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

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



**UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE**



**FACULTÉ  
DE PHARMACIE**  
NANCY

**UNIVERSITÉ DE LORRAINE  
FACULTÉ DE PHARMACIE**

**ÉTUDE DE L'HOMOGENÉITÉ DU CHAMP ACOUSTIQUE EN  
AUDIOMÉTRIE TONALE ET VOCALE**

**MÉMOIRE SOUTENU EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME D'ÉTAT  
D'AUDIOPROTHÉSISTE**

**PAR  
RICHARD GEORGES  
&  
VINCENT DAVET**

Novembre 2016

## Remerciements

Nous tenons à remercier les personnes qui nous ont encouragées durant ces trois années d'études et plus particulièrement celles qui nous ont aidées à la rédaction de ce mémoire de fin d'études.

Tout d'abord, Monsieur Joël DUCOURNEAU, co-directeur de la formation en Audioprothèse de la Faculté de Pharmacie de Nancy, pour son investissement, ses disponibilités et son expérience dans le domaine de l'acoustique sans laquelle il nous aurait été difficile de réaliser ce mémoire.

Nous remercions aussi Monsieur Sébastien BILDE et Monsieur Marcel MATEUCCI, nos maîtres de stage respectifs, pour nous avoir donnés du temps libre pendant le stage pour effectuer notre étude.

Merci à l'Institut National de Recherche (INRS) de Nancy-Brabois pour la mise à disposition du Banc d'Essai au Seuil d'Audition et du matériel associé.

Nous remercions nos proches pour l'aide apportée à la mise en forme de ce mémoire.

Enfin nous remercions, les étudiants en Audioprothèse qui ont accepté de participer à l'élaboration de cette étude, l'équipe pédagogique de la formation en Audioprothèse et nos camarades de promotion pour ces trois belles années passées ensemble.

# Table des matières

<b>Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>Première Partie : l'audiométrie en audioprothèse</b> .....	<b>3</b>
<b>I. Les normes</b> .....	<b>4</b>
<b>A. Le local</b> .....	<b>4</b>
1. Le bruit de fond .....	5
a) Norme 8253-2 [3] .....	5
b) Décret n°85-590 du 10 juin 1985 .....	8
c) Précis d'audioprothèse [2] .....	8
d) Conclusion .....	8
2. Le volume du local .....	9
3. Le temps de réverbération .....	10
4. Conclusion .....	11
<b>B. Les mesures audiométriques</b> .....	<b>11</b>
1. Fonctionnalité du système auditif [10] .....	12
a) La fonction de transfert de l'oreille externe .....	12
b) La localisation sonore .....	13
(1) Les différences interaurales de temps (ITD) .....	14
(2) Les différences interaurales de phase (IPD) [27] .....	16
(3) Les différences interaurales de niveau (ILD) [30] [31] .....	17
(4) Les informations spectrales [30] .....	18
(5) Une limite à la localisation sonore : les cônes de confusion [28] .....	19
c) Remarques liées à l'écoute dans le bruit .....	20
(1) L'analyse des scènes auditives [32] .....	20
(2) Le démasquage spatial en champs libre [33] [34] .....	22
2. Matériel de mesures audiométriques .....	24
a) Audiomètres .....	24
b) Transducteurs de sortie .....	26
(1) Normes 8253-3 [17] .....	29
(2) Recommandation UIT-R BS.1116-1 (1994-1997) [18] .....	29
(3) Précis d'audioprothèse [12] .....	31
(4) Situations à éviter .....	32
(5) Conclusion .....	32
3. Types de signaux d'émission .....	32
a) Audiométrie tonale liminaire .....	33
(1) Les sons purs [19] .....	33
(2) Les sons wobulés ou hululés [19] .....	34
b) Audiométrie vocale .....	35
(1) Le bruit blanc [19] .....	35
(2) Le bruit de « cocktail party » .....	36
(3) L'ISTS (International Speech Test Signal) [36] .....	36
4. Les indicateurs objectifs de mesure. ....	37
a) L'indice d'articulation / « Articulation Index » (AI) [37] .....	37
b) Le « Speech Intelligibility Index (SII) » .....	39
<b>II. Mode de passation et présentation des tests, en champ libre</b> .....	<b>40</b>
<b>A. Audiométrie tonale en champ libre</b> .....	<b>40</b>
<b>B. Audiométrie vocale en champ libre</b> .....	<b>40</b>
1. Test de mots dissyllabiques : Test d'intelligibilité de J.E. FOURNIER [21] .....	41
2. Test de netteté de J.P. DUPRET [22] .....	43
3. Confrontation des deux tests .....	44
4. Autres types de tests [38] .....	45
a) LLD Listes de Logatomes de Dodelé en champ libre [41] .....	45

b) Les listes de phrases [40].....	46
c) Les tests dichotiques [40] .....	47
<b>C. Conclusion.....</b>	<b>48</b>
<b>Deuxième partie : Étude objective de l'homogénéité du champ acoustique pour l'audiométrie en champ libre .....</b>	<b>49</b>
<b>I. L'audiométrie tonale.....</b>	<b>50</b>
<b>A. Le protocole d'essai.....</b>	<b>50</b>
1. Description des locaux de mesures audiométriques .....	50
a) La cabine audiométrique de la Faculté de Pharmacie de Nancy .....	50
b) Le Banc d'Essai au Seuil d'Audition (BESA) de l'INRS de Nancy.....	52
2. Description du matériel de métrologie utilisé .....	53
a) Générateur de sons .....	53
(1) Audiomètre Otometrics Madsen Astera .....	54
(2) Plateforme d'émission des sons wobulés .....	54
b) Système de diffusion sonore.....	54
(1) Dans la cabine audiométrique de la Faculté de Nancy.....	55
(2) Dans le BESA à l'INRS.....	55
c) Antenne microphonique.....	57
d) Système d'acquisition 16 voies Orchestra de 01 dB-METRAVIB .....	57
<b>B. Mesure du champ acoustique .....</b>	<b>58</b>
1. Dans la cabine audiométrique de la Faculté de Nancy .....	58
a) Déroulement des mesures .....	58
b) Résultats.....	61
2. Dans le Banc d'Essai au Seuil d'Audition de l'INRS de Nancy .....	63
a) Déroulement des mesures .....	63
b) Résultats.....	64
3. Conclusion .....	66
<b>II. L'audiométrie vocale .....</b>	<b>67</b>
<b>A. Le protocole d'essai.....</b>	<b>67</b>
1. Description du local .....	67
2. Description du matériel de métrologie utilisé .....	68
a) Système de diffusion .....	68
b) Signaux employés.....	69
c) Kemar [38] .....	69
<b>B. Etude du champ acoustique dans le local dédié à l'audiométrie vocale .....</b>	<b>70</b>
1. Déroulement des mesures.....	70
a) Mesures avec 2 haut-parleurs .....	72
b) Mesures avec 3 haut-parleurs.....	73
c) Mesures avec 5 haut-parleurs .....	76
2. Interprétation globale des résultats .....	77
<b>C. Etude de l'intelligibilité objective des configurations critiques.....</b>	<b>80</b>
1. Déroulement des mesures.....	80
a) Mesures avec 2 haut-parleurs .....	81
b) Mesures avec 3 haut-parleurs.....	83
c) Mesures avec 5 haut-parleurs .....	84
2. Résultats .....	88
3. Conclusions.....	90
<b>Troisième partie: Vérification clinique de l'étude objective .....</b>	<b>91</b>
<b>I) Introduction .....</b>	<b>92</b>
<b>A. Echantillon des sujets.....</b>	<b>92</b>
<b>B. Déroulement des mesures.....</b>	<b>93</b>

1. Salles audiométriques utilisées.....	93
2. Épreuves audiométriques .....	93
a) Audiométrie tonale .....	93
b) Audiométrie vocale .....	93
3. Protocole de mesures.....	94
a) Épreuve tonale en champ libre.....	94
(1) Otoscopie .....	94
(2) Installation de l'étudiant dans la cabine audiométrique.....	94
(3) L'audiométrie .....	95
b) Épreuve vocale en champ libre .....	96
(1) Otoscopie .....	96
(2) Installation de l'étudiant .....	96
(3) L'audiométrie .....	97
<b>II) Résultats .....</b>	<b>98</b>
<b>A. Audiométrie tonale .....</b>	<b>98</b>
1. Etudiant G .....	99
a) Première série .....	99
b) Deuxième série.....	100
c) Troisième série .....	101
d) Synthèse .....	102
2. Étudiante M .....	103
3. Étudiant V .....	104
4. Étudiante J .....	105
5. Étudiant R .....	106
<b>B. Audiométrie vocale .....</b>	<b>107</b>
1. Résultats des tests à 2 et 3 haut-parleurs.....	107
2. Résultats des tests à 5 haut-parleurs.....	109
<b>III) Conclusion .....</b>	<b>110</b>
<b>A. Audiométrie tonale .....</b>	<b>110</b>
<b>B. Audiométrie vocale .....</b>	<b>111</b>
<b>IV) Confrontation des résultats entre l'étude objective et subjective .....</b>	<b>111</b>
<b>A. Audiométrie tonale .....</b>	<b>111</b>
<b>B. Audiométrie vocale .....</b>	<b>112</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>115</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>118</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>122</b>

# Introduction

L'audiométrie en audioprothèse est l'élément essentiel pour une bonne prise en charge d'un patient. Elle peut s'effectuer de différentes manières, soit en conduction aérienne ou osseuse, respectivement au casque supra-aural ou avec un ossivibrateur, soit en champ libre avec des haut-parleurs.

Avec le casque ou l'ossivibrateur, les erreurs de mesures se font plus rares car le positionnement reste en majeure partie identique d'un professionnel de santé à un autre. Cependant en champ acoustique libre, l'utilisation de haut-parleurs peut engendrer des disparités plus ou moins importantes sur les mesures, car d'une cabine audiométrique ou d'une salle d'audiométrie à l'autre, les haut-parleurs sont rarement disposés de la même manière (angle, distance, hauteur).

C'est en voyant les différentes infrastructures (nombre, type, placement des haut-parleurs) utilisées par les audioprothésistes que nous avons voulu savoir si l'hétérogénéité du champ acoustique dans une cabine audiométrique pouvait engendrer des erreurs notables lors de la réalisation d'audiométries au sens large.

Ce mémoire sera donc composé d'une première partie, l'audiométrie en audioprothèse, reprenant les différentes normes relatives à l'exercice de la profession d'audioprothésiste, puis quelques définitions générales d'acoustique et enfin des rappels anatomiques. Ensuite, dans une seconde partie, nous détaillerons notre étude expérimentale et enfin nous finirons par une étude clinique nous permettant d'objectiver nos résultats de mesure.



# Première Partie : l'audiométrie en audioprothèse

Dans le cadre de son activité professionnelle, l'audioprothésiste est soumis à de nombreuses lois qui régissent sa profession. Il se doit de respecter des normes au niveau de son local destiné aux mesures audiométriques mais aussi au niveau audiométrique (stimuli, matériels et tests audiométriques).

## I. Les normes

### A. Le local

Les conditions d'aménagement d'un local réservé à l'activité professionnelle d'un audioprothésiste sont prévues par le décret n°85- 590 du 10 juin 1985 [1].

Le local doit se composer, soit d'une salle de mesures audiométriques traitée acoustiquement (bureau cabine) soit d'un cabinet avec une cabine audiométrique (cabines préfabriquées).

En fonction du type de local l'article impose des règles au niveau du volume utile à respecter.

Ensuite on retrouve des normes sur le niveau de bruit maximum dans des conditions normales d'utilisation (bruit de fond) et des normes relatant du temps de réverbération qui s'appliquent à tout type de local.

D'après le précis d'audioprothèse tome 1 page 69 : *« il faut savoir qu'en fonction de la nature des examens qui y sont réalisés, du confort minimum du patient et de l'opérateur, les locaux sont classés en quatre catégories :*

- *Locaux destinés aux examens audiométriques avec écouteurs et ossivateurs,*
- *Locaux destinés aux examens d'audiométrie par haut-parleurs,*
- *Locaux destinés aux examens de localisation sonore par haut-parleurs,*
- *Locaux destinés aux épreuves et examens audiométriques pratiqués en vue de l'appareillage des enfants » [2].*

Nous allons décrire les normes s'appliquant à un local destiné aux examens d'audiométrie utilisant des haut-parleurs puisque notre étude porte sur l'homogénéité du champ acoustique en audiométrie (tonale et vocale) dans des conditions de champ dit « libre » en audioprothèse.

Dans un premier temps, nous allons voir les normes concernant le bruit de fond de ce type de local, puis celles concernant le volume utile et enfin on abordera celles relatant du temps de réverbération.

## 1. Le bruit de fond

Les valeurs du bruit de fond d'une salle audiométrique ne doivent pas dépasser des valeurs de référence pour ne pas altérer la compréhension du patient. Si les valeurs de référence sont dépassées, cela peut entraîner un phénomène de masquage des sons. Ces valeurs sont établies par bande de tiers d'octave pour un seuil d'audition minimal de 0 dB *HL*.

Plusieurs documents traitent de ce sujet notamment la norme 8253-2 [3], ainsi que le décret n°85-590 du 10 juin 1985 et enfin les précis d'audioprothèse.

Nous allons donc présenter ce que préconisent l'ensemble de ces documents.

### a) Norme 8253-2 [3]

L'audiométrie (tonale ou vocale) en champ acoustique libre utilise des haut-parleurs qui permettent de transformer un signal électrique en un signal acoustique.

La norme 8253-2 [3] établit le tableau de l'illustration 1, relatant des niveaux de pression acoustique maximum admissibles  $L''_{max}$  en dB SPL. Ce tableau présente deux gammes de fréquences des sons d'essai : à partir du 125 Hz et à partir du 250 Hz.

Fréquence médiane des bandes de tiers d'octave (Hz)	Niveau de pression acoustique maximal admissible L''max (Référence: 20 µPa) en dB SPL	
	Fréquence d'essai la plus basse	
	125 Hz	250 Hz
31,5	52	60
40	44	53
50	38	46
63	32	41
80	27	36
100	22	32
125	17	25
160	14	18
200	12	12
250	10	10
315	8	8
400	6	6
500	5	5
630	5	5
800	4	4
1 000	4	4
1 250	4	4
1 600	5	5
2 000	5	5
2 500	3	3
3 150	1	1
4 000	-1	-1
5 000	1	1
6 300	6	6
8 000	12	12

ILLUSTRATION 1 : AUDIOMETRIE EN CHAMP ACOUSTIQUE, NIVEAUX DE PRESSION MAXIMUM ADMISSIBLES, L''MAX, PAR BANDE DE TIERS D'OCTAVE, DE LA PRESSION ACOUSTIQUE AMBIANTE [4]

#### Notes:

1. En utilisant les valeurs données, le niveau liminaire d'audition minimal à mesurer est de 0 dB avec une incertitude maximale de +2 dB due au bruit ambiant. Si une incertitude maximale de +5 dB due au bruit ambiant est admise, les valeurs ci-dessus peuvent être majorées de 8 dB,
2. Il est difficile de mesurer des niveaux de pression acoustique inférieurs à 5 dB avec la plupart des modèles courants de sonomètres,
3. Lorsqu'on utilise comme signal d'essais un bruit à bande étroite, il convient que le niveau de pression acoustique ambiant maximal admissible soit quelque peu inférieur aux valeurs spécifiées au tableau ci-dessus.

Pour les études expérimentales et cliniques réalisées au banc d'essai aux seuils d'audition (BESA) de l'INRS de Nancy, dans la cabine audiométrique et dans la salle audiométrique traitée acoustiquement de la faculté de pharmacie de Nancy, nous avons aussi utilisé des gammes de fréquences des sons d'essai à partir du 125 Hz pour les tests en champ acoustique. Pour cela nous avons repris les mesures du niveau de bruit de fond réalisées par Yaniv ZINI [4]. Ces niveaux sont associés à ceux de la pression acoustique maximum admissibles dans cette gamme de fréquence.

	1	2	1+2
<b>Bande de tiers d'octave (Hz)</b>	<b>L''max pour la fréquence d'essai la plus basse de 125 Hz en dB SPL</b>	<b>Pondération A</b>	<b>Niveaux de pression acoustique L''max pondérés A</b>
31.5 Hz	52	-39,4	12,6
40 Hz	44	-34,6	9,4
50 Hz	38	-30,2	7,8
63 Hz	32	-26,2	5,8
80 Hz	27	-22,5	4,5
100 Hz	22	-19,1	2,9
125 Hz	17	-16,1	0,9
160 Hz	14	-13,4	0,6
200 Hz	12	-10,9	1,1
250 Hz	10	-8,6	1,4
315 Hz	8	-6,6	1,4
400 Hz	6	-4,8	1,2
500 Hz	5	-3,2	1,8
630 Hz	5	-1,9	3,1
800 Hz	4	-0,8	3,2
1 kHz	4	0	4,0
1.25 kHz	4	0,6	4,6
1.6 kHz	5	1	6,0
2 kHz	5	1,2	6,2
2.5 kHz	3	1,3	4,3
3.15 kHz	1	1,2	2,2
4 kHz	-1	1	0,0
5 kHz	1	0,5	1,5
6.3 kHz	6	-0,1	5,9
8 kHz	12	-1,1	10,9

ILLUSTRATION 2 : MESURE DU NIVEAU DE BRUIT EN DB A ASSOCIE AUX NIVEAUX DE PRESSION ACOUSTIQUE AMBIANTS MAXIMUM ADMISSIBLES POUR UNE AUDIOMETRIE TONALE LIMINAIRE EN CHAMPS ACOUSTIQUE [4]

D'après le calcul effectué par Yaniv ZINI à partir de ce tableau, à l'illustration 2, le niveau de bruit en dB(A) associé aux niveaux de pression acoustique ambiants maximum en champ acoustique est de 19,6 dB(A). Cette valeur rejoint bien ce que préconise la norme 8253-2 [3].

b) Décret n°85-590 du 10 juin 1985

Ce décret vise à fixer les conditions d'aménagement du local réservé à l'activité d'un audioprothésiste. On remarque qu'il précise que « *le niveau de bruit dans les conditions normales d'utilisation ne doit pas excéder 40 dB(A) exprimé en niveau constant équivalent sur une durée de mesure d'une heure* » [1].

c) Précis d'audioprothèse [2]

Les précis d'audioprothèse ont montré, suite à des études, que le bruit de fond d'un local ne devrait pas excéder 30 dB(A), pour ne pas impacter l'intelligibilité du patient lors d'audiométries en champ acoustique libre.

d) Conclusion

La valeur du niveau de bruit en dB(A) associé aux niveaux de pression acoustique ambiants maximaux admissibles pour une audiométrie en champ acoustique préconisé par la norme 8253-2 de 19,6 dB(A) est très difficile à mettre en œuvre. Par contre, la valeur préconisée par le décret n°85-590 de 40 dB(A) semble légèrement trop élevée pour qu'il n'y ait pas d'impact sur l'intelligibilité.

Si l'on s'appuie sur les différentes études qui ont été faites sur ce sujet, par exemple celle de Yaniv ZINI, on peut voir que la valeur préconisée converge vers celle proposée par les précis d'audioprothèse du Collège National [2] (un niveau de bruit de fond de 30 dB A). En effet d'après Yaniv ZINI, un niveau de 30 dB A de bruit de fond dégraderait de 5 dB HL la perte tonale moyenne du patient [4].

## 2. Le volume du local

Selon le type de local utilisé par l'audioprothésiste, un volume minimum est requis.

En effet le décret n°85-590 du 10 juin 1985 précise que « le local réservé à l'activité professionnelle de l'audioprothésiste comprend : soit un cabinet et une cabine insonorisée soit une salle de mesures audioprothétiques d'un volume utile de  $15 \text{ m}^3$  » [1].

On remarque donc que si l'audioprothésiste utilise un bureau cabine, un volume utile est à respecter alors que s'il utilise un cabinet avec une cabine audiométrique il n'existe aucune norme relative au volume à respecter.

Les précis d'audioprothèse préconisent à leur tour un volume utile selon le type de local utilisé comme présenté dans le tableau de l'illustration 3 [5].

On remarque donc, par rapport au local utilisé, que les volumes diffèrent. Pour notre étude on se place dans un local destiné aux examens d'audiométrie tonale et vocale par haut-parleurs en champs diffus. En effet pour ce genre d'examen le local destiné aux examens de localisation sonore par système de multidiffusion peut être utilisé.

Type de local	Dimensions intérieures minimales <sup>(*)</sup>	Fréquence de résonance mécanique propre	Temps de réverbération pour les fréquences $\geq 250 \text{ Hz}$
1.3.1. Local destiné aux examens audiométriques au casque et au vibreur	h : 2 m v : $\approx 3 \text{ m}^3$	< 7 Hz	< 0,3 s
1.3.2. Local destiné aux examens d'audiométrie tonale et vocale par haut-parleurs en champ diffus (y compris éventuellement les examens visés en 1.3.1.)	h : 2 m v : $\approx 3 \text{ m}^3$	< 7 Hz	< 0,3 s
1.3.3. Local destiné aux examens de localisation sonore par haut-parleurs (y compris éventuellement les examens visés en 1.3.1. et 1.3.2.)	h : 2 m v : $\approx 16 \text{ m}^3$	< 7 Hz	< 0,3 s
1.3.4. Local destiné aux épreuves et examens audiométriques en vue de l'appareillage des enfants (cf. 06/1.5.)	h : 2 m v : $\approx 24 \text{ m}^3$	< 7 Hz	< 0,3 s
1.3.5. Local destiné à l'adaptation et à la délivrance des prothèses auditives et à l'éducation prothétique	h : 2 m 10 v : $\approx 9 \text{ m}^3$		environ 0,5 s <sup>(**)</sup> (0,3-0,7s)

On peut donc voir que les valeurs du volume utile données par les précis d'audioprothèse rejoignent celles, de minimum  $15 \text{ m}^3$ , données par le décret 85-590 du 10 juin 1985.

ILLUSTRATION 3 : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES LOCAUX UTILISES POUR L'APPAREILLAGE AUDIOPROTHETIQUE [5]

### 3. Le temps de réverbération

Le temps de réverbération noté  $T_r$  est l'intervalle de temps correspondant à une décroissance de 60 dB du niveau de pression acoustique après l'arrêt de l'émission sonore [6].

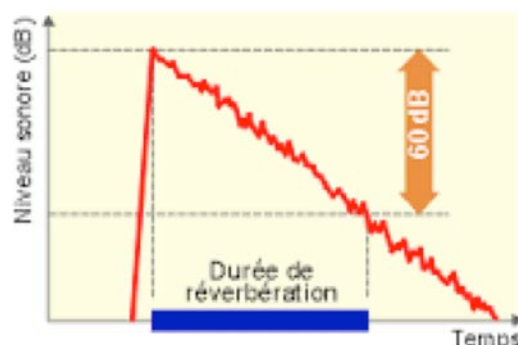


ILLUSTRATION 4 : DUREE DE REVERBERATION [7]

Le local dédié aux mesures audioprothétiques doit respecter une norme sur la durée de réverbération. Plusieurs documents relatent de celle-ci, en l'occurrence le décret n°85-590 du 10 juin 1985 et les précis d'audioprothèse.

Ce décret indique que « *la durée de réverbération ne doit pas, pendant les mesures audioprothétiques, y être supérieur à 0,5 seconde à la fréquence de 500 Hz* ». Étant donné que les mesures audioprothétiques sont généralement réalisées aux fréquences 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz, cette norme n'est vraisemblablement pas suffisante. Il serait plus juste que le local d'exercice respecte un temps de réverbération basé sur toutes les fréquences du spectre étudié lors des mesures.

Au niveau des recommandations des précis d'audioprothèse, on remarque, d'après le tableau 4, que le temps de réverbération diffère selon les locaux. Ils proposent de respecter un temps de réverbération entre 0,3 seconde et 0,5 seconde selon l'activité réalisée.



Contrairement au décret n°85-590, on peut voir que la recommandation sur la durée de réverbération est donnée pour les fréquences supérieures ou égales à 250 Hz, ce qui semble plus juste. On aurait donc tendance à respecter les valeurs proposées par les précis d'audioprothèse.

Finalement, un temps de réverbération inférieur à 0,5 seconde « à partir de l'octave 500 Hz » semble être la recommandation la plus « réaliste » et efficace pour assurer de bonnes mesures.

#### 4. Conclusion

On a pu voir les différentes normes s'appliquant sur le local d'exercice de la profession d'audioprothésiste. Cependant les précis d'audioprothèse relatent d'autres prérogatives telles que l'aération, l'éclairage, l'aménagement intérieur, la communication et enfin la sécurité d'un local [8].

L'audioprothésiste est donc tenu de respecter toutes ces normes pour exercer son métier en toute légalité.

On pourra voir par la suite qu'il est impératif de les prendre en compte dans un premier temps pour respecter la loi mais aussi pour réaliser des mesures précises.

#### B. Les mesures audiométriques

En plus d'être tenu d'appliquer les normes sur son local d'exercice, l'audioprothésiste se doit de respecter des recommandations sur les méthodes de mesures audiométriques.

Afin de pouvoir les comprendre et les appliquer, quelques notions sur, l'anatomie, le matériel, les types de sons et les différents tests audiométriques proposés à l'audioprothésiste, sont nécessaires.

## 1. Fonctionnalité du système auditif [10]

### a) La fonction de transfert de l'oreille externe

L'oreille externe est composée de deux éléments. Le premier est constitué du pavillon et le deuxième du conduit auditif. L'oreille externe a plusieurs rôles. Tout d'abord elle a un rôle de protection de l'oreille moyenne et de l'oreille interne, un rôle dans la localisation des sources sonores (grâce aux deux oreilles) et enfin une fonction d'amplification.

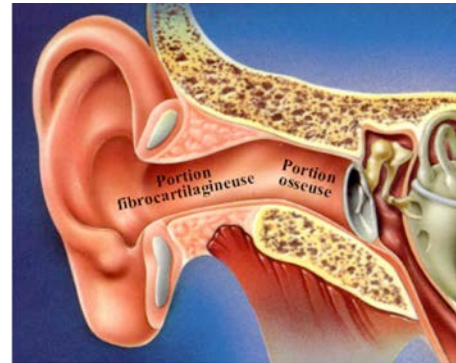


ILLUSTRATION 5 : L'OREILLE EXTERNE [9]

Le pavillon est la partie la plus externe de l'oreille. Il a pour but de capter, et d'atténuer les sons avant de les envoyer vers le conduit auditif externe. Il permet de localiser les sons plus facilement car, de par sa géométrie (relief et creux), il possède une directivité verticale accrue. Enfin il joue un rôle d'amplification de quelques décibels sur les fréquences aiguës ( $> 5$  kHz).

Le conduit auditif externe a lui un rôle d'acheminement des ondes sonores jusqu'au tympan ainsi qu'un rôle, plus important, d'amplificateur : la fonction de transfert.

En effet, lors de l'arrivée des ondes sonores dans le conduit auditif externe, celles-ci subissent des modifications de phase et d'amplitude avant d'arrivée au niveau du tympan. C'est la fonction de transfert de l'oreille externe qui provoque une amplification de l'ordre de 20 dB maximum pour l'oreille humaine sur les fréquences entre 2 kHz et 4 kHz (voir illustration 6 pour un son pur).

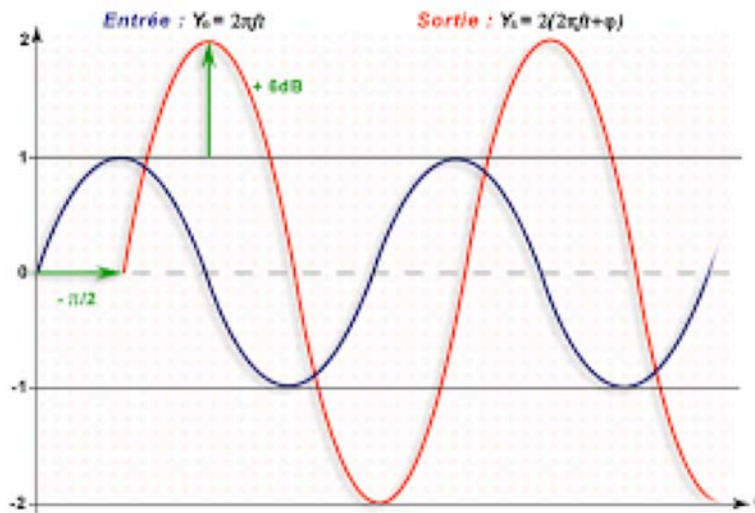


ILLUSTRATION 6 : FONCTION DE TRANSFERT DE L'OREILLE EXTERNE POUR UN SON PUR [11]

Sur cette illustration, on voit que le son pur au fond du conduit (en rouge), subit un décalage de phase de  $-\pi/2$ , et une modification d'amplitude de +6 dB, par rapport au son original mesuré à l'entrée du conduit (en bleu). Cela traduit la fonction de transfert en raison de l'amplification fournie par le conduit auditif externe ainsi que le pavillon, avec les modifications de phase qui l'accompagnent. Par comparaison de ce signal avec l'oreille controlatérale, le système auditif est capable de localiser la source sonore.

Dans le but d'une meilleure compréhension des résultats obtenus dans la partie expérimentale de l'audiométrie vocale en champs libre, il est bon de rappeler l'ensemble des facteurs interagissant dans l'écoute binaurale, intervenant lors de l'écoute naturelle en champs libre.

#### b) La localisation sonore

L'un des avantages principaux de l'écoute binaurale réside dans la localisation des sources sonores, et à fortiori dans leur séparation par le cerveau auditif afin de traiter l'information. La localisation est utile dans la fonction d'alerte – savoir d'où provient le danger, mais également et surtout dans la compréhension de la parole en milieu difficile.

Concrètement, la localisation sonore permet de définir l'emplacement d'une source grâce à sa direction – dans le plan horizontal avec l'azimut, et dans le plan vertical avec la hauteur ; et sa distance, c'est à dire sa profondeur : la distance séparant la source de l'observateur (illustration 7).

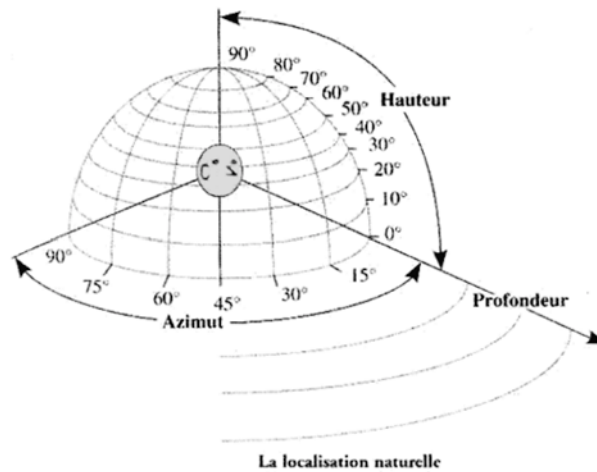


ILLUSTRATION 7 : REPRESENTATION 3D DE LA LOCALISATION SONORE [26]

L'observateur est mobile dans un milieu tridimensionnel évoluant le temps, c'est par la comparaison d'un même signal par le biais des deux oreilles que le système auditif permet cette localisation. Ce dernier utilise différents indices de nature binaurale en fonction de la nature du son perçu :

- Les différences interaurales de temps (ITD),
- Les différences interaurales de phase (IPD),
- Les différences interaurales de niveau sonore (ILD pour Interaural Level Difference),
- Les informations spectrales.

#### (1) LES DIFFERENCES INTERAURALES DE TEMPS (ITD)

En fonction de la direction horizontale de la source sonore, le son se déplaçant à vitesse plus ou moins constante, il existera une différence temporelle dans la réception du signal perçu entre l'oreille droite et l'oreille gauche si le signal envoyé n'est pas équidistant aux deux oreilles (Illustration 8). Cette différence caractérise donc l'ITD [28].

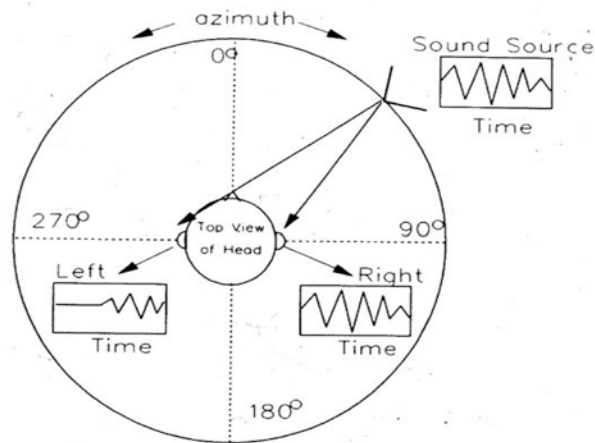


ILLUSTRATION 8 : ITD ENTRE L'OREILLE DROITE ET GAUCHE POUR UN SIGNAL LATERAL A 45° [27]

En effet, l'ITD est alors positive pour des sons strictement latéraux par rapport à la tête (90°), car le son parviendra d'abord à une oreille et ensuite à la seconde : l'écart interaural est maximal ; et il est nul pour des sons provenant strictement de l'avant (0°) ou de l'arrière (180°), car les deux oreilles étant équidistantes à la source sonore, le signal perçu arrive de manière simultanée aux deux oreilles [27].

En faisant varier la position d'un haut-parleur par rapport à la tête d'un auditeur, Fedderson et Al [35] ont tracé une courbe expérimentale traduisant l'ITD en fonction de l'azimut de la source (Illustration 9) :

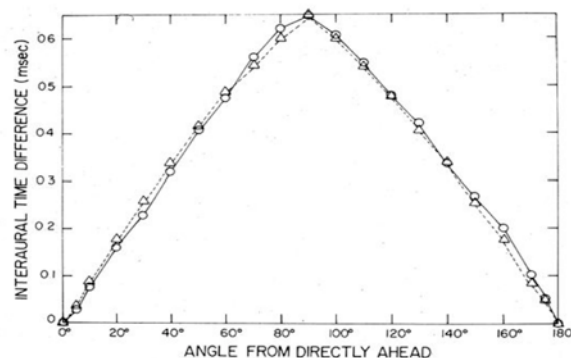


ILLUSTRATION 9 : VARIATION DE L'ITD EN FONCTION DE L'AZIMUT DE LA SOURCE [35]

Sur ce graphique, on peut voir que l'ITD est en effet maximal pour un son strictement latéral (90°), avec une valeur de 0,6 ms. La célérité du son dans l'air étant de 340 m/s en moyenne, l'ITD est bien corroboré à la distance moyenne séparant les deux oreilles chez l'être humain : 20 cm.

(Vitesse = Distance / Temps) => (Distance = Temps\*Vitesse = 0,0006\*340 = 20 cm)

L'ITD est un indice acoustique principalement utilisé dans la localisation horizontale du son.

## (2) LES DIFFERENCES INTERAURALES DE PHASE (IPD) [27]

Comme nous l'avons vu précédemment, l'ITD est un indice acoustique indépendant des caractéristiques fréquentielles du son considéré, puisqu'il s'intéresse uniquement au délai de réception entre les deux oreilles. Ce délai dépend uniquement de la célérité du son et de son azimut par rapport à la tête. C'est là que les différences de phase prennent leur intérêt : elles prennent en compte la fréquence du son et sa longueur d'onde :

- Rappelons que la longueur d'onde d'un son est le rapport de la célérité du son sur sa fréquence ( $\lambda = c/f$ , avec  $\lambda$  Longueur d'onde en mètres,  $c$  célérité du son en m/s,  $f$  fréquence en Hertz) ;
- Pour un ITD maximal de 0,6 ms, la fréquence correspondante est environ de 1600 Hz – la fréquence d'un son étant l'inverse de sa période ( $f=1/T$ , avec  $f$  Fréquence en Hertz et  $T$  période en secondes) ;
- Si on calcule la longueur d'onde correspondante, elle est alors de  $\lambda = c/f = 340/1600 = 20$  cm, ce qui correspond à la distance moyenne séparant les deux oreilles.

Concrètement, au-delà de 1600 Hz, la longueur d'onde n'est pas suffisamment grande pour entraîner une différence de phase. En revanche, les IPD apparaissent en dessous de 1600 Hz, lorsque la longueur d'onde du son dépasse la distance interaurale, c'est alors un indice acoustique utile pour caractériser des fréquences plus graves. Fortement lié à l'ITD, il est principalement utilisé pour la localisation horizontale du son.

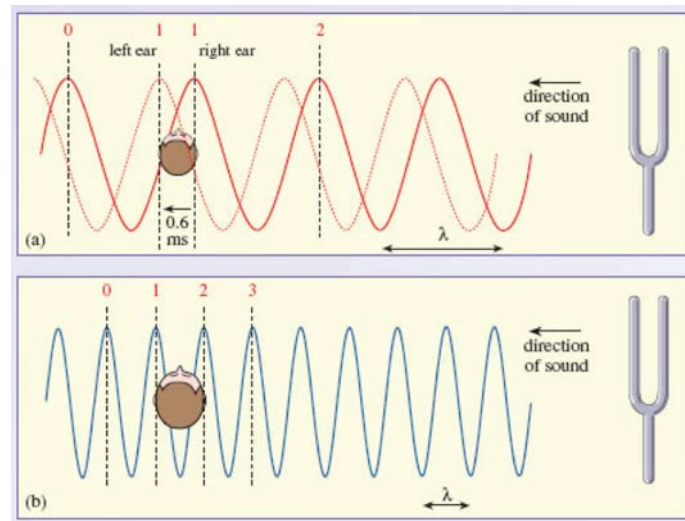


ILLUSTRATION 10 : MISE EN EVIDENCE DE L'IPD EN FONCTION DE LA FREQUENCE A L'AIDE D'UN SON PUR [42]

L'illustration 10 montre un exemple à l'azimut  $90^\circ$  (ITD maximal) qui traduit l'IPD : pour des sons de fréquence grave  $<1600$  Hz (en rouge), en raison de la longueur d'onde, le son perçu aux deux oreilles ne sera pas dans le même état vibratoire, alors que pour des sons de fréquence plus aigus  $>1600$  Hz, la phase est la même entre les deux oreilles.

### (3) LES DIFFERENCES INTERAURALES DE NIVEAU (ILD) [30] [31]

Comme nous l'avons vu avec les IPD, la tête joue un rôle prépondérant dans la localisation sonores car ses caractéristiques physiques interagissent avec celles des ondes acoustiques, provoquant des décalages en phase, mais aussi en intensité : les IID (Interaural Intensity Differences) ou ILD (Interaural Level Differences).

En champs libre, les ondes sonores s'atténuent lors de leur propagation de manière constante par doublement de distance à la source ( $-3$  dB si la source est linéaire,  $-6$  dB si la source est ponctuelle). Cette atténuation est accentuée par l'effet d'ombre de la tête, qui joue le rôle d'un véritable filtre passe-bas. Ainsi, comme les IPD, les IID dépendent également de la fréquence, mais contrairement à eux, ils aident surtout au discernement des sons plus aigus, car l'atténuation est plus forte sur les hautes fréquences ( $>1500$ - $1600$  Hz en moyenne. (Illustration 11).

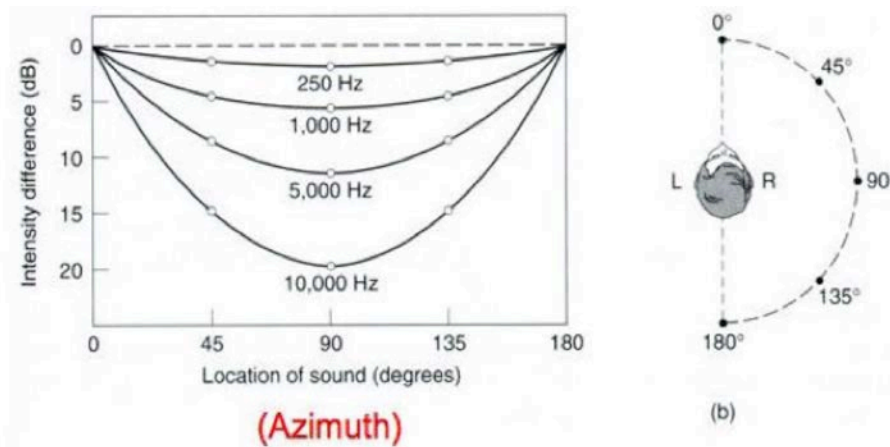


ILLUSTRATION 11 : VARIATION DE L'ILD EN FONCTION DE L'AZIMUT ET DE LA FREQUENCE [30]

Tout comme les ITD et les IPD, les IID dépendent de l'azimut. En effet, l'effet d'ombre de la tête est maximal lorsque la source sonore est strictement latérale à  $90^\circ$ , et se trouve nul lorsque la source est localisée à  $0^\circ$  ou  $180^\circ$  (Illustration 11).

#### (4) LES INFORMATIONS SPECTRALES [30]

Les différents indices vus précédemment sont prépondérants dans la localisation horizontale des sources. Cependant, comme nous l'avons vu dans la partie fonction de transfert de l'oreille externe (I. B. 1. a.), il existe d'autres indices capables de contribuer à la localisation verticale des sources : le pavillon. De par ses différents reliefs et creux, l'amplification et / ou l'atténuation fournies en fonction de l'angle d'incidence sont uniques pour chaque direction, et varient également en raison des reliefs liés au buste et aux épaules.

Comme le montre l'illustration 12 ci-contre, une « entaille » spectrale à tendance à se décaler vers les fréquences plus graves lorsque l'incidence du son se déplace vers le bas dans le plan médian de la tête. Tout comme la fonction de transfert, ces indices sont uniques pour chaque individu car chaque morphologie est différente. Ces indices sont donc uniques et c'est par le fruit d'un long apprentissage que chacun vient à les exploiter afin de tirer au mieux parti de la localisation spatiale.

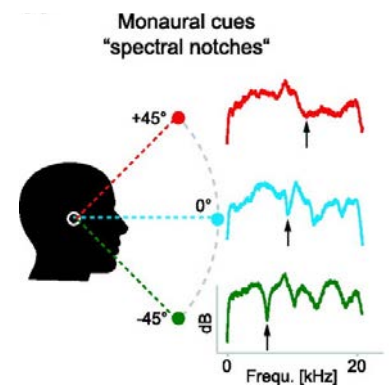


ILLUSTRATION 12 : MISE EN EVIDENCE DES INDICES SPECTRAUX DANS LA LOCALISATION VERTICALE [30]



Par ailleurs, l'ensemble des incidences sur le plan azimuthal et vertical d'un son émis sur l'oreille droite et sur l'oreille gauche sont regroupés sous le nom de *Head Related Transfert Function* (HRTF). Cet ensemble de données peut servir de base à la conception de modèles mathématiques destinés à anticiper le comportement de l'oreille face à une source sonore provenant de n'importe quelle direction. Ils sont principalement utilisés dans la reproduction de sons binauraux.

(5) UNE LIMITE A LA LOCALISATION SONORE : LES CONES DE CONFUSION [28].

Dans la mesure où la source sonore peut se situer à une distance variable du récepteur, il existe, en fonction des fréquences, des zones sur le plan azimuthal et sur le plan médian où les ITD et les ILD sont identiques. Cette espace, d'axe interaural, a la forme d'un cône dont le sommet prend naissance au méat auditif. La base de ce cône dépend de l'ensemble des directions pouvant se confondre au niveau des indices acoustiques ITD et IID, cela peut-être dû à la distance émetteur-récepteur, mais également à toutes les réflexions multiples pouvant s'ajouter au signal initial (illustration 13) :

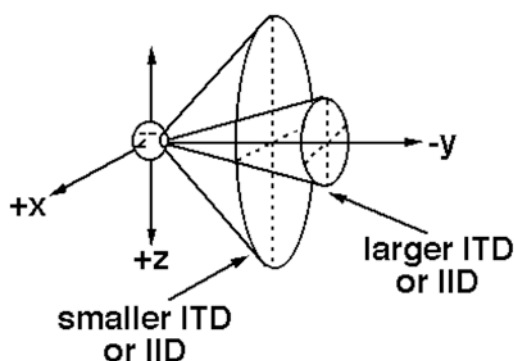


ILLUSTRATION 13 : CONE DE CONFUSION: AMBIGUÏTE DE DIFFERENCIATION AVANT/ARRIERE [29]

Plus la longueur d'onde est grande, plus la confusion potentielle est grande, si bien que la plus courante est l'incapacité de déterminer si une source basse-fréquence provient de l'avant ou de l'arrière, car les deux cônes de confusion droit et gauche se confondent.

Une solution au problème de localisation dû aux ITD et ILD avant / arrières égales, est de tourner légèrement la tête sur l'axe horizontal (illustration 14 ci-contre). Cela permet de faire varier ces indices acoustiques afin de retrouver une perception de localisation ; de manière analogue, tourner la tête verticalement permet de résoudre les ambiguïtés spatiales haut/bas.

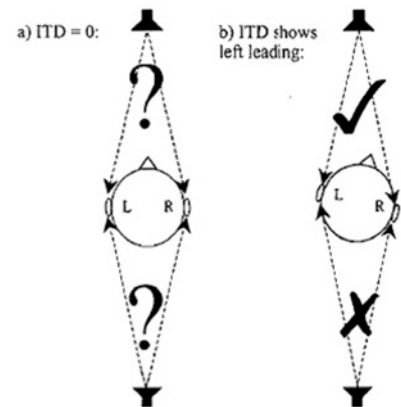


ILLUSTRATION 14 : ROTATION DE LA TÊTE: SOLUTION AUX CONES DE CONFUSION [43]

#### c) Remarques liées à l'écoute dans le bruit.

En plus des tests de localisation, les salles de mesures audiométriques en champ libre permettent également la réalisation de tests vocaux. Pour comprendre l'importance du positionnement de chaque haut-parleur, il est intéressant d'appréhender les mécanismes mis en jeu par les indices acoustiques évoqués précédemment, ainsi que leur traitement par le cerveau auditif.

#### (1) L'ANALYSE DES SCENES AUDITIVES [32]

Les indices de localisation sonore décrits en amont présentent une première ébauche de la manière avec laquelle le système auditif parvient à se repérer dans le monde où il évolue. Ces mécanismes s'avèrent efficaces dans la détermination d'une source isolée, mais qu'en est-il lorsqu'il se retrouve acculé par une cacophonie de sources agissant en concert ?

Une simple séparation physique des sources ne suffit pas. Le système auditif opère alors un traitement en aval de la perception des événements sonores. Afin d'éclairer cette problématique, Bregman [39] propose un modèle, l'analyse des scènes auditives, basé sur une analogie conceptuelle de l'analyse des scènes visuelle.

En effet, la perception d'une ou plusieurs sources sonores entraîne la formation d'un flux auditif. En fonction de plusieurs caractéristiques, le cerveau regroupe ces flux ou les sépare afin de les traiter ensemble ou indépendamment, c'est ainsi que des sources multiples et différentes sont différenciées. Le principe de fusion ou scission se base sur la mise en commun ou la différenciation de traits acoustiques : fréquence, temps, amplitude...

Selon le modèle ASA, ces mécanismes peuvent s'opérer de manière simultanée – lorsque plusieurs sources sont analysées en même temps, ou de manière séquentielle – lorsque plusieurs événements sont consécutifs. Les indices utilisés par le traitement séquentiel et le traitement simultané sont fortement liés.

Voici les traits sur lesquels s'appuie le traitement simultané :

- Harmonicité : lorsqu'un stimulus présente une fréquence fondamentale et des harmoniques, la fusion est facilitée. Ainsi, des stimulus avec des fréquences fondamentales différentes, et donc des harmoniques différentes, sont plus facilement séparées par le système auditif,
- Homogénéité d'enveloppe, synchronisme d'attaque : des événements présentant des évolutions temporelles similaires sont traités en un flux, et donc traités en des flux distincts s'ils présentent un caractère asynchrone,
- Corrélation binaurale : attrait à la localisation sonore (cf. I. B. 1. b.), une cible est plus aisément extraite d'un masqueur si la cohérence interaurale est différente,
- Modulation homogène en fréquence : il s'agit d'un autre exemple de l'homogénéité d'enveloppe, un stimulus présentant une modulation sur l'amplitude de chaque fréquence relativement similaire est regroupé comparativement à un stimulus où cette évolution est incohérente.

Le traitement séquentiel d'événements consécutifs, lui, s'appuie sur les indices suivants :

- Proximité fréquentielle / de timbre : des événements consécutifs présentant une fondamentale et des harmoniques proches sont regroupés en un flux, et séparés en plusieurs flux distincts si elles diffèrent,
- Caractère répétitif : la redondance de certains événements dans la durée tend à leurs séparations,
- Taux de répétition : la succession de sons à rythme diligent tend à la scission, et celle de sons à un rythme plus lent tend à la fusion.

L'approche de ce modèle par ces différents traits permet d'expliquer en parti comment nous parvenons à extraire la parole d'une confusion phonique telle que c'est le cas dans les ambiances dites de « cocktail party ». Cependant, dans le cadre de notre mémoire, le seul facteur variant véritablement est celui de la corrélation binaurale. En effet, le placement des haut-parleurs doit permettre de tirer au mieux parti de ces indices en fonction de ce que nous voulons observer, lorsque nous désirons tester nos patients dans le bruit, les autres facteurs décrits ci-dessus attirant directement à leur rééducation auditive. Il est alors essentiel de s'assurer que le patient ne soit pas trop avantagé ou désavantagé par ces phénomènes afin d'obtenir une mesure fiable et comparable dans le temps.

La compréhension de ce qu'implique la corrélation binaurale se doit alors d'être explicitée par le phénomène de démasquage binaural. Ce dernier est fortement utilisé dans la compréhension de la parole en milieu bruyant.

## (2) LE DEMASQUAGE SPATIAL EN CHAMPS LIBRE [33] [34]

Les indices de localisation sonore, décrits ci-dessus (ILD, ITD, IPD), exploités par le système auditif sont à la base de l'écoute binaurale.

Au-delà de la localisation, ils permettent également d'augmenter la détection d'un signal, pur ou complexe, par des procédés d'intégration centraux. Le démasquage binaural et l'écoute dite « Better Ear listening » en sont deux parfaits exemples.

En effet, ces phénomènes se caractérisent de la manière suivante : lorsque deux sons – un son cible et un son masqueur, sont émis dans une même direction, leur ségrégation par le système auditif sera plus difficile que si l'incidence de ces deux sons aux pavillons est différente. Eloigner le masqueur de la cible permet d'accroître la perception de la cible.

L'écoute dite « Better Ear Listening », que l'on pourrait traduire grossièrement par « l'écoute par la meilleure oreille », survient lorsque l'ILD est maximale. Si un son masqueur est envoyé par exemple dans l'oreille gauche de manière strictement latérale (90°), l'ombre de la tête réduira son intensité à l'oreille droite. Si on émet alors un signal de parole dans l'oreille droite, le rapport signal sur bruit sera meilleur à cette oreille et la détection/compréhension en sera facilitée. Ce phénomène est donc strictement induit par les indices de localisation : dans la mesure où il est lié aux ILD, il facilite la ségrégation des fréquences aiguës.

Le démasquage binaural lui, se base d'avantage sur les IPD. Il dépend de la cohérence interaurale du son masqueur aux deux oreilles. A des niveaux supraliminaire, lorsque la cohérence est minimale (IPD = 180°), c'est-à-dire lorsque le son masqueur est strictement latéralisé, le système auditif exploite cette cohérence afin de réduire la perception du son masqueur, augmentant ainsi la réception d'un signal lorsqu'il provient d'une incidence différente du son masqueur. Vu qu'il est lié aux IPD, le démasquage binaural s'avère efficace dans le traitement des basses fréquences. Il est à noter qu'il intervient même lorsque le son masqueur arrive de face ou d'arrière : recevant à chaque oreille la même information, le système auditif égalise le son masqueur aux deux oreilles et le réduit afin d'augmenter le rapport signal sur bruit. Ce modèle « *Equalization-Cancellation (E-C)* », est proposé par Durlach en 1972. Lorsque ces conditions sont respectées, le fait d'augmenter l'intensité du son masqueur jusqu'à ce qu'il remplisse à nouveau son rôle s'appelle les « *Binaural Masking Level Differences (BMLD)* ». Dans le cas présent les BMLD sont les plus grandes aux fréquences les plus graves du spectre auditif.

C'est pour ces raisons que démasquage binaural et l'écoute par la meilleure oreille sont deux phénomènes indépendants et fortement liés, car ils se complètent afin d'optimiser la perception d'un signal en milieu bruyant. Il est important d'en avoir conscience car ils ont un impact certain sur les conditions de passation des examens audiométriques en champs libre, notamment dans les locaux de type 3 – épreuves de localisation spatiale, et encore plus lorsqu'ils remplissent également les conditions des locaux des autres types.

## 2. Matériel de mesures audiométriques

L'audioprothésiste est tenu d'avoir un certain matériel de mesure pour effectuer les audiométries tonales et vocales. Pour cela, nous verrons les différents types d'audiomètres et leurs fonctions ainsi que les différents types de transducteurs de sortie qui sont à notre disposition (Casque, ossivateurs et haut-parleurs).

C'est ici que nous détaillerons ce que préconise la réglementation.

### a) Audiomètres

Les audiomètres sont des appareils qui permettent de déterminer les caractéristiques de l'audition par voie aérienne (casque, champ acoustique) ou par voie osseuse (ossivateur) [12].

Le décret n°85-590 du 10 juin 1985 dit que « l'audioprothésiste doit disposer dans son local d'exercice d'un matériel de mesures audioprothétiques tel qu'un audiomètre tonal ou vocal de classe A normalisé ou un ensemble audiométrique équivalent comportant des sorties sur écouteurs, vibreurs ou haut-parleurs » [1].

Les précis d'audioprothèse recommandent un audiomètre de classe 1 (cf. illustration 15). Un seul audiomètre suffit pour réaliser de l'audiométrie tonale ou vocale.

Possibilités	Classe 1
Conduction aérienne	x
Deux écouteurs	x
Conduction osseuse	x
Masquage des sons purs	
1. Bruit à bande étroite	x
2. Bruit à bande étroite ou autre	
3. Bruit à large bande	x
Masquage des sons vocaux	0
Application du bruit de masque	
Ecouteur controlatéral	x
Ecouteur ipsilatéral	x
Ossivibrateur	x
Son pur de référence	
Alterné	x
Simultané	x
alterné, monaural, à deux fréquences	0
Signalisation de la réponse du patient	x
Sortie auxiliaire (par exemple haut-parleur)	x
Entrée pour un générateur signal extérieur (par exemple parole)	x
Domaine de niveaux d'audition et de fréquence	
Commande de fréquence	
1. Fréquences fixes	x
2. Fréquence continûment variable	0
Présentation du son	
1. Son continu	x
2. Son pulsé automatiquement	x
Indicateur de signal d'essai	x
Contrôle acoustique du signal d'essai	0
Communication vocale entre le sujet et l'opérateur	0
Ecouteurs protégeant du bruit	x

X : Spécification obligatoire minimale

0 : Possibilité supplémentaire souhaitable

ILLUSTRATION 15 : CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTES CLASSES D'AUDIOMETRE [12]

Pour l'audiométrie tonale ou vocale, l'appareil de mesures devra avoir [12] :

- Une échelle d'intensité de -10 à +120 dB avec des pas de +/- 5 dB,
- Une échelle de fréquence de 125 Hz à 8000 Hz avec les ½ octaves 750, 1500, 3000 et 6000 Hz pour réaliser des mesures plus précises,
- Un choix sur le type de signal de stimulation,
- Un choix sur les transducteurs de sortie : casque, vibreur, haut-parleurs,
- Une calibration régulière à l'aide d'un sonomètre réglementaire,
- Un choix sur plusieurs canaux de sortie du signal pour pouvoir stimuler le patient avec plusieurs signaux simultanément.

L'audiométrie tonale ou vocale peut être réalisée en champ libre. Celui-ci permet de relever les mêmes seuils que l'on mesure au casque. Cependant, il faut prendre des

précautions au niveau de l'étalonnage car pour les mesures au casque, les seuils seront relevés en dB HL alors qu'en champ libre nous mesurons des seuils en dB SPL.

Il faut donc établir une correspondance, lors de la calibration, entre les mesures aux casques et en champ libre afin d'obtenir les mêmes seuils entre les deux modes de passations des tests.

Les mesures doivent être reproductibles d'une cabine à une autre. Pour cela l'étalonnage doit être réalisé de manière régulière et doit répondre aux normes ISO 389-7 portant sur le zéro de référence pour la calibration des équipements audiométriques.

#### b) Transducteurs de sortie

Comme expliqué précédemment, il existe plusieurs types de transducteurs de sortie pour effectuer les tests audiométriques. Pour les mesures en conduction aérienne, nous utilisons soit un casque soit des haut-parleurs. En conduction osseuse, le seul transducteur de sortie existant est le vibreur.

Dans notre étude, qui sera décrite ultérieurement, nous avons réalisé des mesures en champ libre et en champ diffus. Pour cela, le transducteur de sortie utilisé est le haut-parleur. Avant de détailler ce que la norme ISO 8253-3 et les différentes recommandations préconisent sur la disposition et le nombre de haut-parleurs à utiliser pour l'audiométrie en champ acoustique, il est important de rappeler ce qu'est le champ libre et le champ diffus.

Le champ libre audioprothétique est différent du champ libre pour les acousticiens. En effet on se place dans des conditions de champ libre lorsqu'il n'y a pas d'obstacle à la propagation d'une onde sonore (les acousticiens utilisent des chambres anéchoïques). Or, pour les audioprothésistes, le champ libre correspond simplement à placer des haut-parleurs dans un local d'audiométrie qui émettent soit un signal vocal soit un son pur [15].



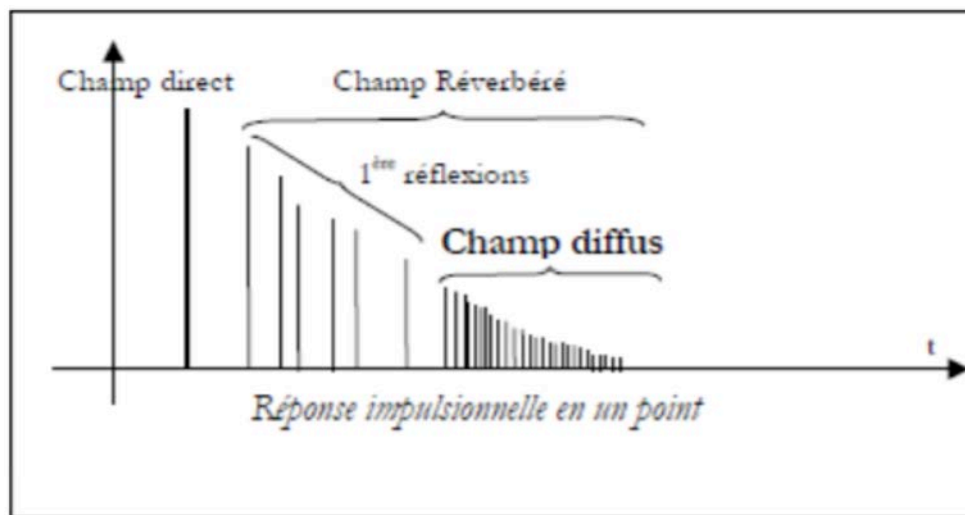


ILLUSTRATION 16 : LE CHAMP DIFFUS [13]

Le champ diffus est lui un peu plus compliqué. Au niveau de ses propriétés, le son diffus n'a pas de direction privilégiée et sa densité énergétique reste homogène dans tout le local. Le son diffus a un caractère aléatoire, il n'existe pas de corrélation entre deux positions données [13].

Le champ acoustique diffus est « *un champ acoustique consistant en ondes sonores arrivant à un emplacement donné, et provenant plus ou moins simultanément depuis toutes les directions, avec la même probabilité et le même niveau* » [14].

Le champ direct sera le premier à être perçu, ensuite viendra les réflexions précoces et enfin le champ diffus en dernier lieu (illustration 16).

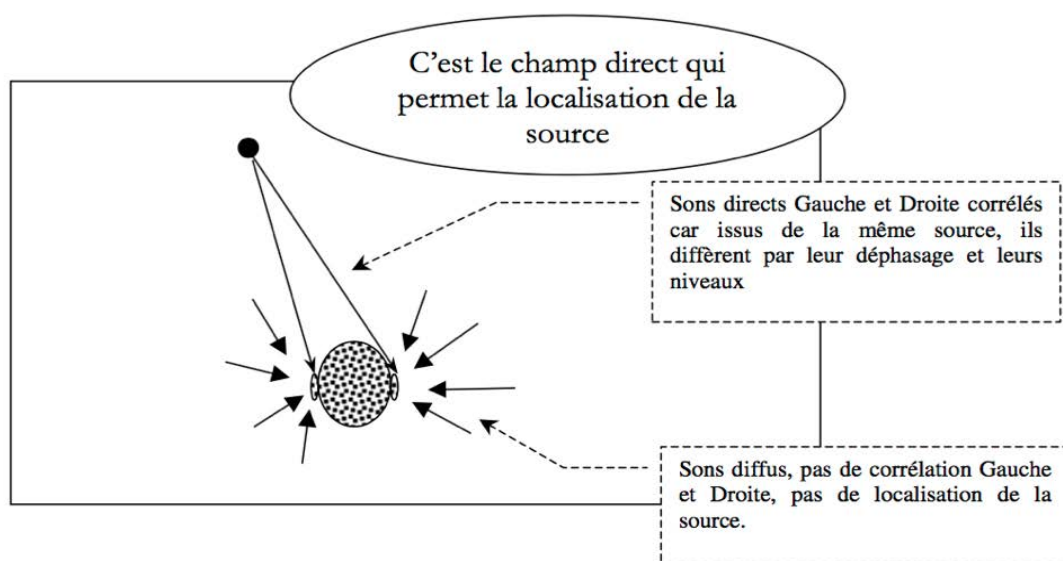


ILLUSTRATION 17 : DIFFERENCE ENTRE LE CHAMP DIRECT ET LE CHAMP DIFFUS [13]

Pour créer un champ diffus de manière homogène, les acousticiens utilisent des diffuseurs de Schroeder.

« Un diffuseur de Schroeder permet à une onde acoustique percutant le diffuseur acoustique de réfléchir l'onde acoustique dans plusieurs angles en diminuant l'ensemble de l'intensité sonore sans changer le timbre » [16].

Les diffuseurs de Schroeder possèdent un fort coefficient de diffusion acoustique dans la plage fréquentielle 1000 Hz – 4000 Hz (voir illustration 19).



ILLUSTRATION 18: DIFFUSEUR DE SCHROEDER

[16]

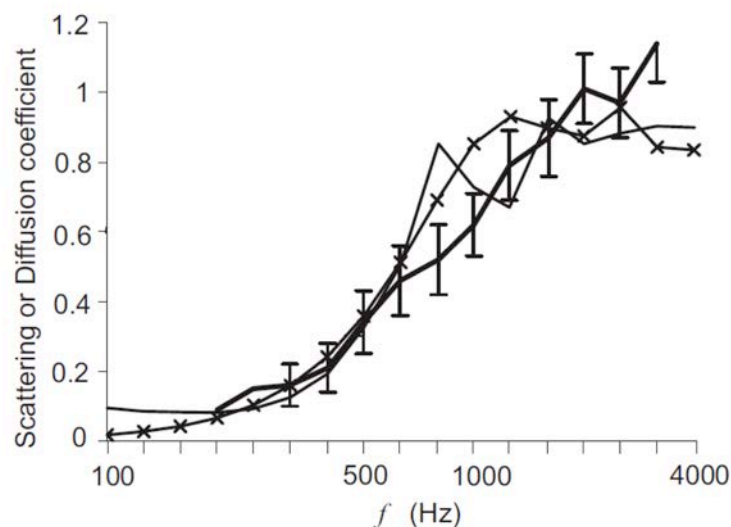


ILLUSTRATION 19: COEFFICIENT DE DIFFUSION ACOUSTIQUE DES DIFFUSEURS DE SHROEDER [24]

Maintenant que nous avons vu la différence entre le champ libre et le champ diffus, nous allons voir ce que préconisent les recommandations sur les dispositifs d'émission des sons.

(1) NORMES 8253-3 [17]

Comme peut le décrire l'illustration 20, la norme ISO 8253-3 recommande, à l'audioprothésiste, de disposer au minimum de trois haut-parleurs pour effectuer des tests audiométriques en champ libre. On peut voir qu'elle stipule de placer un haut-parleur en position frontale à azimuth 0 degrés et deux haut-parleurs à 45 degrés à 1 mètre du sujet testé.

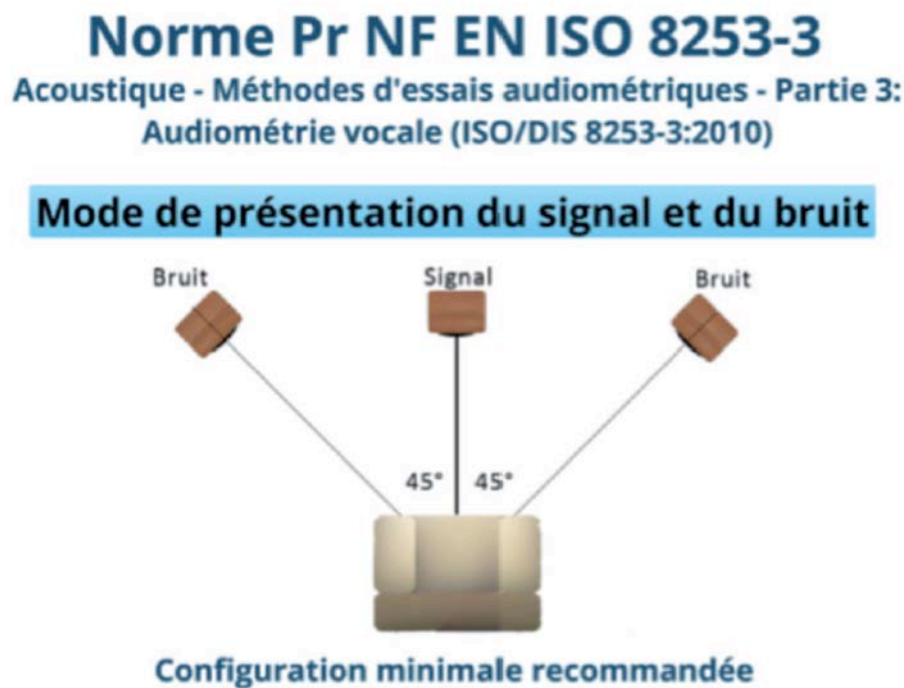


ILLUSTRATION 20: CONFIGURATION MINIMALE RECOMMANDEE [17]

(2) RECOMMANDATION UIT-R BS.1116-1 (1994-1997) [18]

L'union internationale de télécommunication a beaucoup travaillé sur l'évaluation subjective de ces spatialisations de haut-parleurs.

Elle propose donc deux situations, une situation avec deux haut-parleurs et une autre avec cinq haut-parleurs (illustrations 21 et 22).

Disposition pour essais d'écoute avec haut-parleurs L et R  
Systèmes sonores stéréophoniques avec faibles dégradations

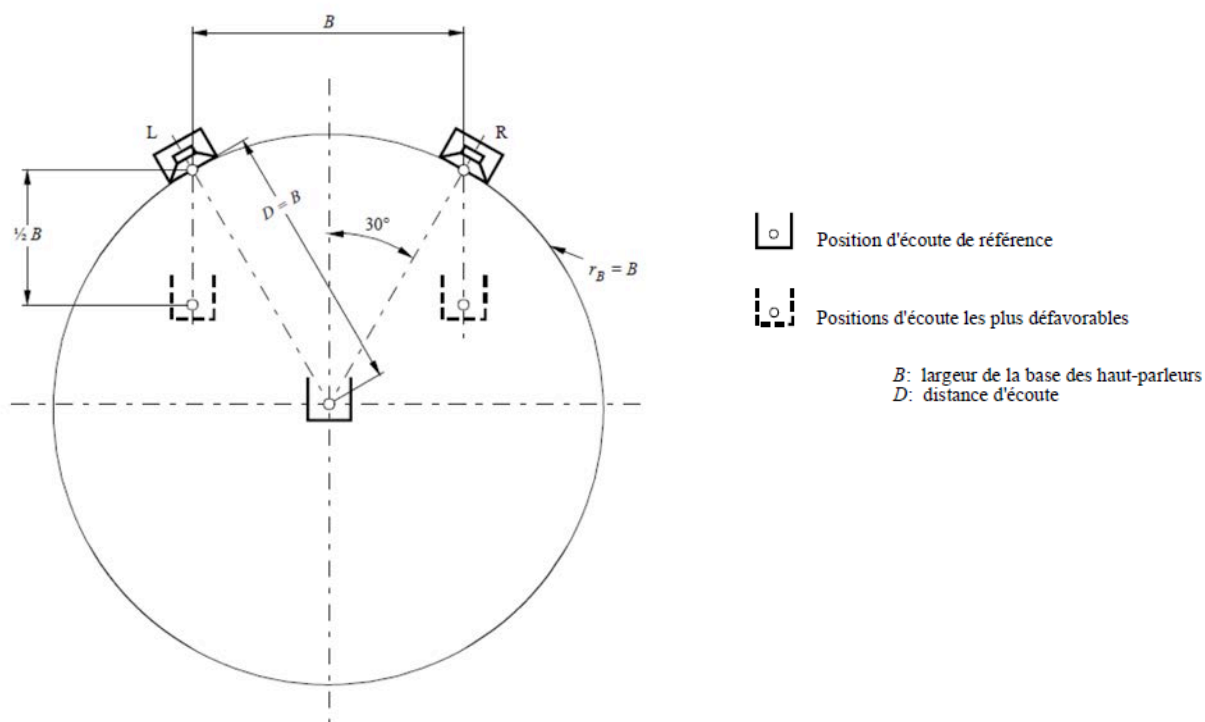


ILLUSTRATION 21: SITUATION D'ECOUTE AVEC 2 HAUT-PARLEURS [18]

En analysant ce schéma, on remarque qu'il propose de positionner les haut-parleurs à 30 degrés à une distance, appelée la base  $B$ , comprise entre 2 et 3 mètres. De plus il recommande de mettre le point de réception à une distance comprise entre 1,7 fois la base et deux fois la base.

On peut donc voir que cette disposition nécessite des distances très importantes et qu'il ne sera pas facile, pour un audioprothésiste, de la mettre en pratique.

Disposition pour essais d'écoute avec haut-parleurs L/C/R et LS/RS  
Systèmes sonores multivoie avec de faibles dégradations

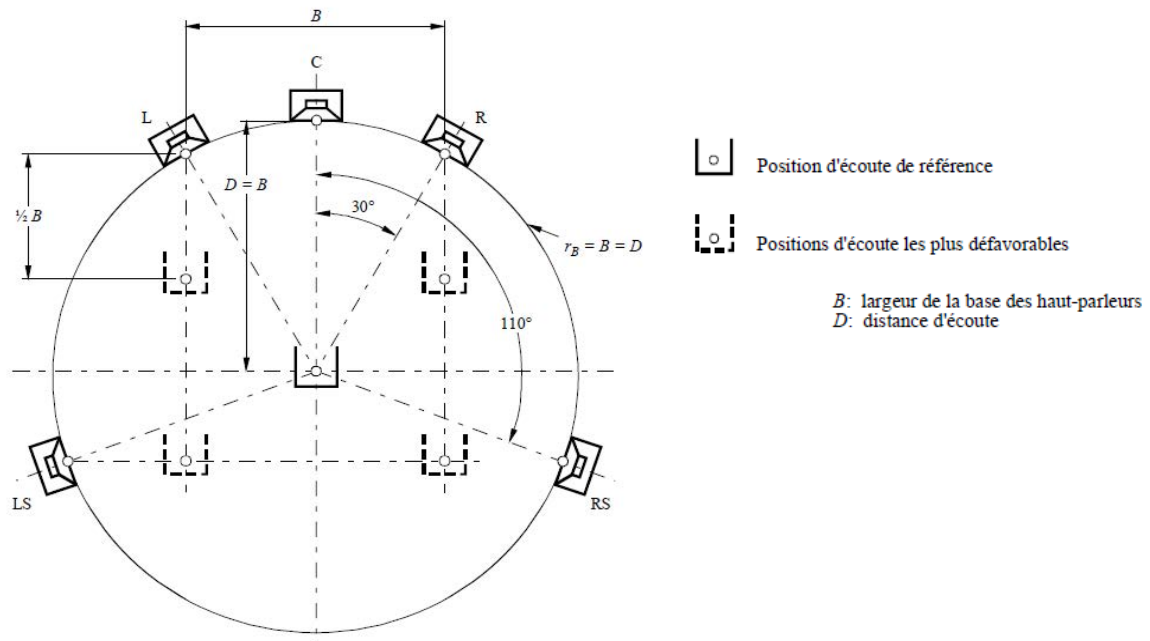


ILLUSTRATION 22: SITUATION D'ECOUTE AVEC 5 HAUT-PARLEURS [18]

Sur le même principe que pour la situation avec deux haut-parleurs, la recommandation a proposé une situation à cinq haut-parleurs.

On remarque que le haut-parleur central est disposé à l'azimut 0 degré et les deux haut-parleurs latéraux à 30 degrés. Les deux haut-parleurs arrière sont eux disposés à 110 degrés.

Au niveau des distances, elles sont calculées sur la même base que pour la situation à deux haut-parleurs.

### (3) PRECIS D'AUDIOPROTHESE [12]

Le Collège National d'Audioprothèse préconise, pour les épreuves d'audiométrie en champ libre, un dispositif minimum de quatre haut-parleurs capable de produire un niveau de pression acoustique d'au moins 80 dB SPL.

#### (4) SITUATIONS A EVITER

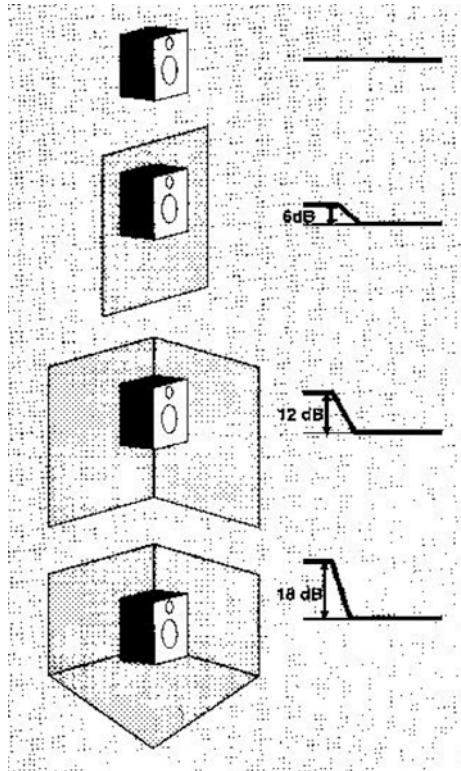


ILLUSTRATION 23: SITUATIONS A EVITER [19]

Même sans avoir connaissance de ces recommandations, l'audioprothésiste doit, grâce à ses connaissances en acoustique, savoir éviter certaines situations comme par exemple celle de placer les haut-parleurs proches des parois.

Comme on peut le voir avec l'illustration 23, si on place un haut-parleur sur un mur, cela engendre une augmentation de 6 dB jusqu'à 18 dB dans les basses fréquences, si le haut-parleur est placé par terre dans un angle. Il est donc conseillé de placer les hauts parleurs à un mètre minimum de la paroi afin d'éviter l'apparition d'ondes stationnaires (cf. les sons purs p33).

#### (5) CONCLUSION

Au vu de ces différentes normes et recommandations, nous pouvons voir que toutes les situations proposées sont différentes. Il est donc délicat, pour l'audioprothésiste, de savoir comment placer ses haut-parleurs dans son local dédié aux audiométries en champ acoustique libre.

Après avoir décrit les différentes situations proposées par la réglementation, nous allons voir les types de signaux que ces transducteurs de sortie peuvent émettre.

### 3. Types de signaux d'émission

Les signaux d'émission utilisés pour réaliser une audiométrie tonale sont différents de ceux utilisés pour l'audiométrie vocale. Dans un premier temps nous détaillerons ceux pour l'audiométrie tonale puis ceux pour l'audiométrie vocale.

#### a) Audiométrie tonale liminaire

Plusieurs types de sons peuvent être utilisés pour l'audiométrie tonale liminaire. En revanche certains sons sont à éviter lorsque l'on fait des mesures en champ libre.

##### (1) LES SONS PURS [19]

« Un son pur correspond à une vibration acoustique sinusoïdale et donc à une seule fréquence » [19].

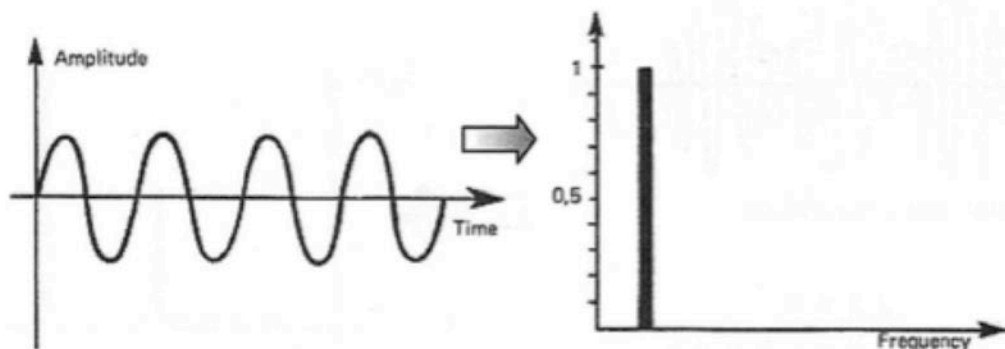


ILLUSTRATION 24: REPRESENTATION TEMPORELLE ET SPECTRALE D'UN SON PUR [19]

Les sons purs ne sont que très peu représentatifs de notre environnement quotidien. Ils sont utilisés lors de mesures audiométriques en conduction aérienne (au casque) mais sont à éviter pour toutes mesures réalisées, en champ libre, avec des systèmes de diffusion type haut-parleurs. Pourquoi les éviter pour les mesures en champ libre ?

Les sons purs créent des régimes d'ondes stationnaires et donc des modes acoustiques (état des ondes stationnaires).

« Un système d'ondes stationnaires est obtenu par superposition d'une onde incidente et une onde réfléchie » [15].

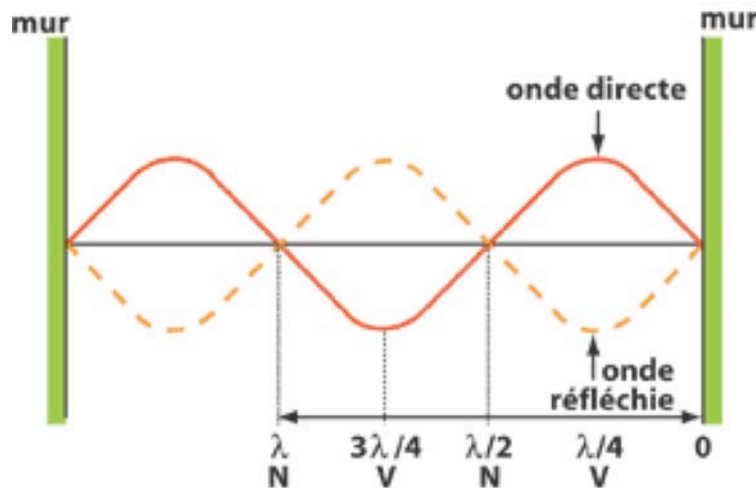


ILLUSTRATION 25: PHENOMENE D'ONDES STATIONNAIRES [20]

D'après l'illustration 25, nous pouvons voir que le phénomène d'ondes stationnaires entraîne l'apparition de ventres et de nœuds. Autrement dit, il y a l'apparition de maxima (ventres) et de minima (nœuds). De plus on remarque que la distance entre deux ventres ou deux nœuds consécutifs est égale à  $\lambda/2$  où  $\lambda$  représente la longueur d'onde.

Les ondes stationnaires apparaissent généralement dans les basses fréquences. C'est pour cela qu'il faut éviter de placer les hauts parleurs proches des parois (cf. situations à éviter).

Pour éliminer les modes acoustiques, il est conseillé de traiter acoustiquement (matériaux poreux, laine de verre) les parois du local et d'utiliser des signaux wobulés.

## (2) LES SONS WOBULES OU HULULES [19]

Les sons wobulés ou hululés ont la particularité d'être modulés en fréquence. Ce ne sont pas des sons purs ou encore périodiques. Leurs spectres sont composés d'une raie correspondant à la fréquence porteuse et d'autres raies disposées de manière symétrique par rapport à la porteuse.

On les utilise donc pour éviter la formation d'ondes stationnaires lors des tests audiométriques tonals en champ libre.

Enfin ces sons sont aussi utilisés pour l'audiométrie infantile car ils sont plus réactogènes que les sons purs.



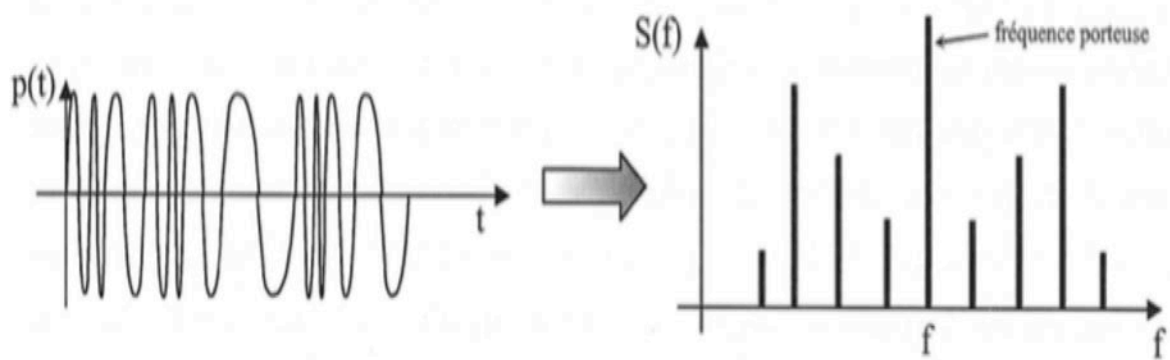


ILLUSTRATION 26: REPRESENTATION TEMPORELLE ET SPECTRALE DE SONS PURS MODULES EN FREQUENCE [19]

## b) Audiométrie vocale

L'audiométrie vocale possède un panel de sons d'émission plus important. Généralement pour tester la compréhension du sujet (dans le calme) nous utilisons des listes de phrases ou de mots (exemple : logatomes).

Cependant l'audiométrie vocale peut aussi être utilisée pour tester la compréhension du patient mais cette fois en présence de bruit. Pour cela, le bruit masquant utilisé est souvent un bruit blanc ou un bruit de « cocktail party ». Il est donc essentiel de détailler les propriétés d'un bruit blanc et d'un bruit de « cocktail party ».

### (1) LE BRUIT BLANC [19]

Le bruit blanc est composé par l'ensemble des fréquences audibles. Il a un spectre continu et sa densité spectrale est constante.

Le nombre de fréquences doublant d'une octave à l'autre, l'énergie croît donc linéairement de 3 dB par octave comme on peut le voir illustration 27.

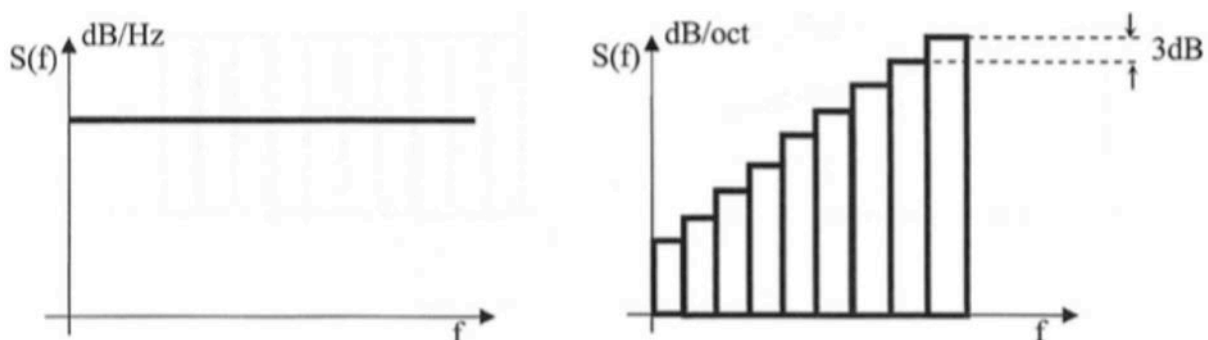


ILLUSTRATION 27: SPECTRE DU BRUIT BLANC [19]

« Le bruit blanc peut être pondéré de deux manières :

- *Par un filtre large bande, indiqué sur les audiomètres par WN (White noise) ou BBN (Broad band noise). Il sert à masquer la parole et à déterminer le seuil global d'inconfort,*
- *Par le spectre de la parole obtenu par filtrage. Sa densité spectrale varie comme celle du spectre à long terme de la parole. Ce son est utilisé comme masque de la parole. Il est habituellement désigné sous le sigle SWN (Speech Weighted Noise), il est encore appelé son composite » [19].*

Le bruit blanc filtré peut être caractérisé par sa fréquence centrale, on parle de bruit blanc bande étroite NB (Narrow Band).

## (2) LE BRUIT DE « COCKTAIL PARTY »

Le bruit de « cocktail party » est utilisé pour représenter, lors d'une audiométrie vocale dans le bruit en champ libre, un environnement sonore que l'on peut rencontrer quotidiennement.

Il permet de, mettre en situation un sujet qui rencontre des problèmes de compréhension dans le bruit. Cela permettra au patient de focaliser son attention auditive sur le flux de parole (listes de mots ou phrases) qui se mélangera au bruit ambiant (« cocktail party »).

## (3) L'ISTS (INTERNATIONAL SPEECH TEST SIGNAL) [36]

Si le bruit de « cocktail party » cherche à caractériser le bruit dans lequel un patient peut se retrouver immerger quotidiennement, le signal ISTS lui, s'intéresse à simuler un signal naturel de parole sur le long terme afin de standardiser, fiabiliser les mesures obtenus grâce aux appareils auditifs. Il le simule en respectant certaines de ses propriétés naturelles : respect d'une forme de modulation spectrale, de la fréquence fondamentale et des harmoniques associées, du spectre à long et court terme, des pauses.

Le signal ISTS est le fruit d'un travail réalisé par un groupe de travail couvert par la « EHIMA (*European Hearing Instrument Manufacturing Association*) », association de 6 protagonistes de l'appareillage auditif sur le marché européen.

Se voulant standard, il se doit d'être inintelligible. Pour se faire, les voix de 21 locutrices différentes, dans 6 langues natales différentes (Anglais américain, français, arabe, espagnol, allemand et chinois), ont été enregistrées lisant le compte « Le vent du nord et le Soleil ». Les enregistrements ont ensuite été segmentés, remixés et mélangés ensemble. Le signal est validé car il ne diffère que peu des enregistrements originaux par rapport à aux différentes propriétés énumérées dans le paragraphe précédent.

L'ISTS n'est donc pas largement utilisé dans le cadre d'une audiométrie vocale dans le bruit, car il est davantage à la base de méthodes de mesures, pour les appareils eux-mêmes. Il sert de signal de parole pour les mesures du Speech Intelligibility Index (SII).

Chaque audioprothésiste a sa méthode pour réaliser les audiométries vocales dans le calme et dans le bruit. Il existe d'autres types de signaux vocaux ou de bruits masquant mais les plus utilisés restent ceux décrits en amont.

#### 4. Les indicateurs objectifs de mesure.

##### a) L'indice d'articulation / « Articulation Index » (AI) [37]

Le besoin d'évaluer le rendement des dispositifs électroacoustiques s'est rapidement posé dès lors que l'homme parvint à transmettre un message vocal à distance. L'indice d'articulation est né de ce besoin et répond à cette problématique. En effet, développé dans les années 40 par le laboratoire Bell, pour mesurer l'efficacité des téléphones, il a abouti à l'établissement d'une norme en 1969.

En 1987, Pavlovic propose une réforme de l'AI en intégrant de nouveaux indices de pondération fréquentielle, censés intégrer de manière plus fidèle l'importance de chaque bande de fréquence dans l'évaluation objective de l'intelligibilité d'un message vocal. Il est possible de le calculer par le biais des bandes critiques, des tiers d'octave et des octaves. La norme américaine ANSI S3.5-1997 définit le calcul de l'AI comme étant le suivant :

$$Ai = \frac{(\text{Spectre voix} - \text{seuil ou bruit}) + 15}{30}$$

EQUATION 28: FORMULE DE L'AI [37]

Concrètement l'indice d'articulation se calcule grâce à l'émergence de chaque signal de parole par rapport aux seuils auditifs – ou aux seuils des signaux masquant s'ils viennent à majorer les seuils liminaires. La dynamique vocale de 30 dB, c'est-à-dire 15 dB de part et d'autre du spectre à long terme est également proposé par la norme ANSI S3.5-1997.

L'AI varie selon le support vocal. Il est intéressant de noter que le matériel vocal employé ; phrases, mots monosyllabiques... - influe sur l'importance de chaque pondération fréquentielle utilisée, certaines pouvant avoir plus d'importance que d'autres (voir illustration 29).

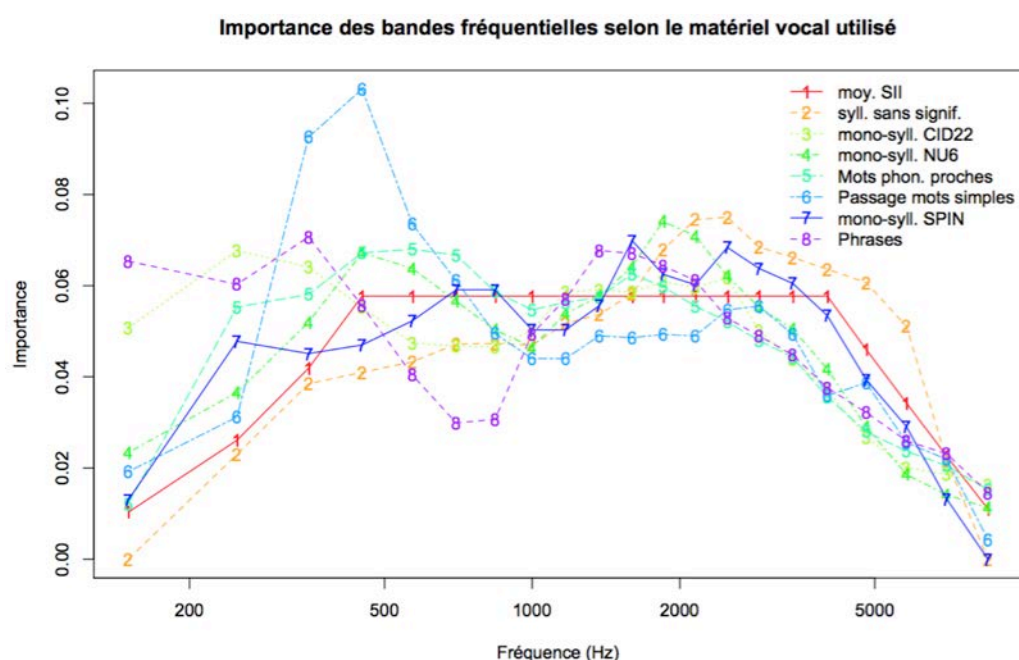


ILLUSTRATION 29: IMPORTANCE DES BANDES FREQUENTIELLES DANS LE CALCUL DE L'AI SELON LE MATERIEL VOCAL EMPLOYE [37]

Dans l'illustration 29, la pondération « moy SII » est celle employée par défaut lorsqu'aucun matériel vocal n'est spécifié – algorithme implanté par exemple dans les modules de mesure in-vivo afin de renforcer l'objectivité de la mesure.

L'AI possède toutefois des limites qui seront prises en compte avec le SII, décrit ci-dessous.

#### b) Le « Speech Intelligibility Index (SII) »

Si l'AI peut se voir comme une première ébauche à la mesure objective de l'intelligibilité attendue à un message vocal, le SII le complète dans les facteurs que ce dernier ne prend pas en compte, tel que le masquage par un bruit, la voix du sujet, la réverbération. La formule du SII est donc basée sur celle de l'AI et le principe reste toujours l'observation de l'émergence des éléments vocaux dans la dynamique résiduelle : la base fréquentielle est la même. Voici un exemple de formule de calcul du SII :

$$SII = \sum_{i=1}^n I_i A_i D_i \times S$$

EQUATION 30: EXEMPLE DE CALCUL DU SII

$A_i$  représente l'indice d'articulation ;  $I_i$  correspond à l'importance de chaque bande fréquentielle (Equation 28) ;  $D_i$  est une distorsion liée au niveau d'entrée de la voix ;  $S$  est une distorsion liée à la perte auditive (*HLD : Hearing Loss Desensitization*).

Peu de différences existent alors entre le SII et l'AI dans le calme, mais le SII gagne en précision lorsqu'il s'agit de prédire l'intelligibilité en présence de bruit ou en prenant en compte une perte auditive. Il est plus représentatif de la diversité des conditions d'écoute que l'on peut rencontrer.

## II. Mode de passation et présentation des tests, en champ libre

À travers les différents tests que nous allons décrire, nous détaillerons leur mode de passation et leur interprétation.

### A. Audiométrie tonale en champ libre

L'audiométrie tonale se réalise toujours de la même manière. Elle permet de déterminer les seuils d'audition du patient.

Les fréquences principales testées sont le 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz. Nous pouvons améliorer la précision des mesures en testant les fréquences intermédiaires telles que le 750, 3000 et 6000 Hz.

On commence toujours par tester la fréquence du 1000 Hz. Ensuite, par ordre croissant, on teste les fréquences aiguës jusqu'au 8000 Hz et on termine par les fréquences graves en ordre décroissant du 750 Hz au 125 Hz.

L'audiométrie tonale en champ libre s'effectue oreilles nues et en écoute binaurale.

Les sons utilisés sont des sons wobulés (cf. paragraphe 3) a) [2] les sons wobulés) pour éviter l'apparition d'ondes stationnaires (cf. paragraphe 3) a) [1] les sons purs).

Le sujet répond aux stimulations envoyées, par le testeur, à l'aide d'une poire de réponse.

### B. Audiométrie vocale en champ libre

Pour réaliser une audiométrie vocale en champ libre plusieurs tests sont à la disposition des audioprothésistes. Chaque test possède des particularités dans sa passation et dans son interprétation. Dans notre étude clinique qui sera détaillé par la suite, nous avons décidé d'utiliser le test de netteté de J.P. DUPRET.

Nous allons donc confronter, le test d'intelligibilité de J.E. FOURNIER, qui est le test classique de l'audiométrie vocale prothétique, avec le test de netteté de J.P. DUPRET, qui est un test de logatomes (mots sans significations). Enfin nous verrons pourquoi nous avons choisi le test de netteté plutôt que le test de mots.

## 1. Test de mots dissyllabiques : Test d'intelligibilité de J.E. FOURNIER [21]

Le test d'intelligibilité de FOURNIER est le test le plus couramment utilisé pour l'audiométrie vocale prothétique. Le patient doit simplement répéter ce qu'il comprend.

Ce test peut se réaliser de différentes manières. Soit au casque, soit en champ libre avec ou sans lecture labiale.

(a) 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	cordons
clavier	cachot	secret	ruban	ticket
(b) 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

ILLUSTRATION 31: EXTRAIT DES LISTES DE MOTS DISSYLLABIQUES DU TEST D'INTELLIGIBILITE DE J.E FOURNIER [21]

Il est constitué de 40 listes de 10 mots, toutes phonétiquement équilibrées. Il représente une difficulté moyenne. L'unité du test est donc le mot. La moindre confusion sur le mot entraîne une réponse fautive. Le résultat se note en pourcentage par liste.

On multiplie par 10 le nombre de mots correctement répétés pour obtenir un pourcentage d'intelligibilité. Des mots dissyllabiques seront utilisés comme matériel phonétique.

Dans ce test, l'aspect mnésique influence beaucoup les résultats. En effet, ce test emploie des mots connus utilisés, pour la plupart, tous les jours. Il n'est donc pas anodin, que le sujet répète correctement le mot, même s'il ne l'avait pas compris en totalité : c'est la suppléance mentale.

L'intérêt de ce test est de pouvoir mesurer l'intelligibilité à différentes intensités d'émission. Le seuil d'intelligibilité ou *Speech Reception Threshold (SRT)* correspond à la valeur en décibel pour laquelle le sujet répète 50% des mots de la liste.

Les résultats sont représentés sur une courbe tracée sur un graphique où l'abscisse est l'axe des intensités en dB HL et l'ordonnée le pourcentage de mots correctement répétés.

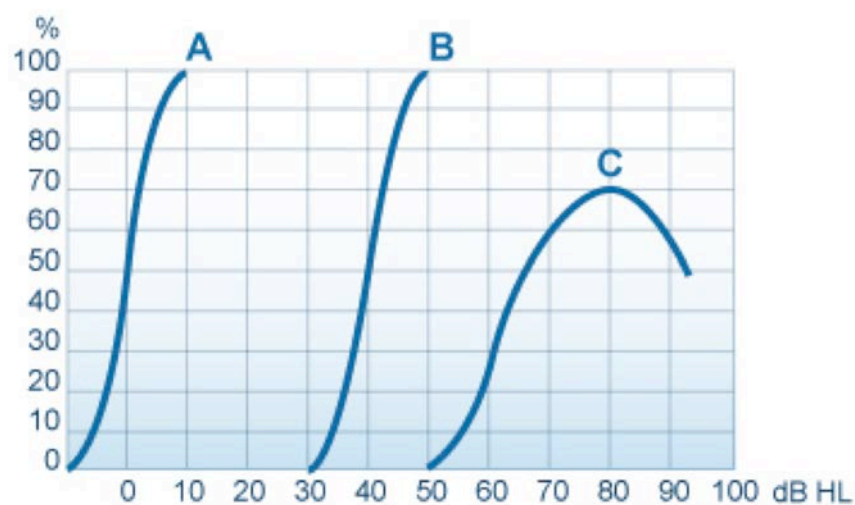


ILLUSTRATION 32: EXEMPLES DE RESULTATS D'AUDIOMETRIES VOCALES EN ECOUTE BINAURALE [23]

L'interprétation des courbes d'intelligibilité ne peut s'effectuer que par une comparaison avec la courbe vocale d'un sujet normo-entendant. L'illustration 32 montre en effet différents résultats d'audiométrie vocale binaurale :

- La courbe A représente l'audiogramme vocal d'une personne normo-entendante qui peut servir de courbe de comparaison,
- La courbe B montre que l'on obtient 100 % d'intelligibilité pour une intensité de 50 dB avec un seuil d'intelligibilité égal à 40 dB,



- Enfin la courbe C montre une chute de la courbe à intensité trop élevée avec l'apparition d'une « cloche ». Ceci est dû à une « saturation » du système auditif et nous laisse penser qu'il y a d'importantes distorsions supraliminaires.

## 2. Test de netteté de J.P. DUPRET [22]

Ce test vocal se différencie du précédent par l'utilisation de logatomes : mots sans signification. Constitué de 20 listes de 11 logatomes de 3 phonèmes, il est conçu de manière à synthétiser la langue française dans ses aspects phonétiques, par exemple par les types de phonèmes employés et leur récurrence.

### AUDIOMETRIE VOCALE

Test de netteté

J.-P. Dupret

Patient												
Date												
Audiomètre												
Opérateur	CD 5 piste											
	1 22		2 23		3 24		4 25		5 26			
Observations	kime		toume		aubai		tougue		éjai			
	izai		oukan		éfa		auma		nude			
	aufan		aifa		chide		inou		zaufe			
	songue		zaupe		uba		zaive		pibe			
	chuve		uvi		jisse		éjon		ayain			
	éja		pébe		nouve		upain		éssan			
	poune		onssau		taigue		yauche		mouque			
	teube		jaigue		ukeu		sangue		onti			
	udain		yade		tonze		jeufe		chugue			
	gnague		nube		yanche		gnade		euvau			
	oufai		échon		oumon		ukai		jaisse			
/ 33		/ 33		/ 33		/ 33		/ 33				

ILLUSTRATION 33: EXEMPLES DE LISTES DU TEST DE NETTETE DE DUPRET [22]

Son principal intérêt est de ne recourir à aucun moment à la suppléance mentale, ce qui permet de préciser le déficit auditif en deçà de ses aspects culturels et mnésiques. Pour ces raisons c'est un test objectivement plus difficile permettant d'isoler l'audition périphérique. De plus, il est rapide et simple d'utilisation et de passation.

Le test de netteté s'effectue normalement à des niveaux supraliminaires, à un niveau égal à la perte tonale moyenne sur les fréquences 500, 1000, 2000 et 4000 Hz + 20 dB.

Les mots sont répétés successivement et l'unité utile est le phonème : la confusion au sein du mot est précisée, tout comme l'endroit où a eu lieu la faute. Le résultat peut s'exprimer sous forme de pourcentage en multipliant le nombre d'erreur phonémique par 3. Le patient peut être testé de façon bilatérale, unilatérale, avec et sans lecture labiale, avec et sans bruit.

Dans le cadre de notre mémoire, ce test sera employé avec présence d'un bruit masqueur, de façon à mettre les sujets normo-entendants testés en difficulté maximale d'écoute. Ce test a été choisi en particulier pour sa méthode de notation des résultats – décompte des erreurs phonétiques simples, car cela est pratique et les confusions ainsi mises en évidence peuvent s'avérer plus révélatrices d'une disparité spatiale du champ acoustique.

### 3. Confrontation des deux tests

Ces deux tests peuvent être utilisés pour tester la compréhension d'un sujet.

En effet le test d'intelligibilité de J.E. FOURNIER est le plus utilisé mais pas forcément le plus représentatif car il utilise des mots simples, connus de tous et fait appel à la suppléance mentale.

Or, le test de netteté de J.P. DUPRET ne fait appel à aucun moment à la suppléance mentale, grâce à l'utilisation de logatomes, autrement dit, de mots sans significations. Celui-ci nous permet d'obtenir des résultats plus précis et plus représentatifs.

Ce test est le plus objectif des tests subjectifs.

C'est donc pour cela que, pour l'étude clinique, nous avons décidé d'utiliser le test de netteté de J.P. DUPRET.

#### 4. Autres types de tests [38]

D'autres tests existent afin de tester un patient dans une évaluation pré- ou post-appareillage. En l'occurrence, les tests employés en champ libre ont pour vocation d'apprécier l'apport prothétique d'un appareillage, par la comparaison d'un résultat avec et sans aides auditives.

Ces épreuves peuvent se dérouler dans différentes conditions de passation avec une pluralité de matériel vocal. Il est bon d'avoir conscience de ces tests plus élaborés, car si une mauvaise disposition des haut-parleurs entraîne des irrégularités de mesure avec des tests « basiques », on peut facilement s'imaginer qu'il en sera de même avec des tests plus précis.

##### a) LLD Listes de Logatomes de Dodelé en champ libre [41]

Ces listes sont issues du test AVfB, Audiométrie Verbo-fréquentielle en présence de Bruit, proposé en 1999 par Dodelé avec l'aide de Lefèvre. Tout comme les listes de netteté de Dupret, ces listes sont des logatomes, avec la différence qu'elles sont constituées selon le modèle des listes cochléaires de Lafon sur une base de 17 mots de 3 phonèmes. La vocation du test est de se vouloir plus en adéquation avec le quotidien réel des malentendants et les appareils qui les corrigent, pratique d'utilisation et utile dans les réglages pouvant découler des confusions analysées. Par ailleurs, le bruit masqueur utilisé est l'onde vocale globale, développée spécialement pour ce test. C'est un bruit représentatif du signal de parole à long terme à trois niveaux d'intensité.

Dans les recommandations inhérentes à la disposition des haut-parleurs, il est préconisé des configurations idéales à 2, 3, 4 et 7 haut-parleurs (hp), sept étant une configuration dite idéale permettant la réalisation précise de n'importe quel test dans le bruit. Le bruit et le signal ne sont jamais émis par le même haut-parleur :

- 2 HP : HP diffusant signal de parole face au patient, HP diffusant bruit dos au patient, installation minimale, ne permet pas la diffusion de bruit de façon stéréophonique,
- 3 HP : HP diffusant signal de parole face au patient, 2 HP diffusant bruit à  $\pm 120^\circ$  de part et d'autre le patient. Possibilité de réaliser des tests vocaux dans le bruit, mise en évidence du caractère directionnel des microphones des aides auditives,
- 4 HP : HP diffusant signal de parole face au patient, 3 HP diffusant bruit, 2 de part et d'autre le patient à  $90^\circ$  et 1 derrière le patient à  $180^\circ$ . Test vocal dans le bruit plus réaliste, simulation de localisation spatiale,
- 7 HP : Toutes configurations possibles, tous tests vocaux réalisables avec grande précision et souplesse dans la disposition des haut-parleurs.

Les conseils dans le placement des haut-parleurs suggèrent que lorsque le nombre de haut-parleurs augmente, la précision et la fiabilité des tests s'accroissent. Cependant, les spécificités dans les conditions de passation et l'étude que l'on porte nous pousse à étudier une multitude d'autres configurations, c'est pourquoi nous n'avons pas directement utilisé ces listes et le test associé. Cela permettra d'ailleurs d'affirmer ou non les suggestions employées dans la disposition des haut-parleurs.

#### b) Les listes de phrases [40]

Le principe de ces tests réside dans la répétition de phrases significantes à différentes intensités. L'unité de mesure étant la phrase, n'importe quelle faute au sein même de cette phrase entraîne une erreur. De part la complexité du matériel vocal employé, il est à l'exact opposé des aspects étudiés avec les logatomes : il s'intéresse aux capacités de suppléances mentales, et est très révélateur de la mobilisation centrale avec l'analyse du rythme, de la prosodie, de la mélodie. La différence avec la vie quotidienne se trouve dans le fait que le patient est dans des conditions d'écoute idéales, avec une attention normalement maximum.

Ces tests sont surtout employés dans le dessein de rassurer des patients peu confiant dans le processus d'appareillage, dans la mesure où tous les maillons de la chaîne auditive sont mobilisés : les chances de succès sont maximums et pour ces raisons il peut s'avérer pratique en fin de contrôle immédiat d'efficacité.

Ils font donc appel à trop de facteurs différents et mobilisent trop les processus centraux pour pouvoir analyser finement l'impact des haut-parleurs dans l'intelligibilité d'un message, c'est pourquoi nous n'avons pas eu intérêt à les employer.

### c) Les tests dichotiques [40]

Les tests dichotiques s'intéressent également à l'évaluation auditive centrale mais de manière plus poussée. En effet il compare les performances des deux demi-hémisphères : en test pré-prothétique il permet alors de déterminer l'oreille la plus performante dans le décodage d'un message vocal. Plusieurs tests dichotiques existent et mettent en concours les deux oreilles.

Dans le test de Willford par exemple, on envoie des paires de phrases dans chaque oreille à des niveaux différents, l'oreille testée recevant un message inférieur en intensité à l'oreille controlatérale, il est demandé d'ignorer les phrases « masquantes » controlatérale afin de se concentrer sur le message cible de l'oreille testée.

Le principe du test SSW de Katz est à peu près le même, sauf que les paires de phrases sont remplacées par des couples dissyllabiques et les mots sont présentés avec un décalage d'une syllabe entre les deux oreilles.

Ces tests sont intéressants et riches d'information. Ils permettent de confirmer l'oreille pouvant recevoir la meilleure prise en charge et lever les ambiguïtés sur les dissymétries. Cependant tout comme les tests de phrases, ils font appel à trop de facteurs pour pouvoir purement isoler l'impact du champ acoustique sur l'intelligibilité d'un signal lors d'une diffusion en champs libre.

## C. Conclusion

Cette première partie a pour but d'énumérer toutes les conditions générales, d'un point de vue normatif et technique, auxquelles nous ferons référence dans la suite de ce manuscrit. Ces rappels faciliteront la compréhension de certains termes techniques qui seront employés dans l'explication de nos mesures et résultats.

L'explicitation des normes relatives aux locaux de mesure et leur aménagement acoustique permet de poser des références. Le rappel des phénomènes physiques et des facteurs audiométriques intervenant dans la mesure audioprothétique s'effectue dans le même dessein. Ensemble, cela permet de mieux saisir la problématique de notre mémoire, et les choix que nous avons pris quant à la passation de nos différentes expériences.

Deuxième partie :  
Étude objective de  
l'homogénéité du  
champ acoustique  
pour l'audiométrie en  
champ libre

Cette étude est divisée en deux parties distinctes. La première, traite d'une étude comparative entre deux locaux, du champ acoustique en audiométrie tonale et la seconde portera sur l'étude du champ acoustique mais cette fois pour l'audiométrie vocale en champ libre.

## I. L'audiométrie tonale

L'étude de l'homogénéité du champ acoustique pour l'audiométrie tonale liminaire en « champ libre » d'un point de vue « audioprothèse », est une étude comparative entre la cabine audiométrique de la Faculté de Pharmacie de Nancy et la salle du Banc d'Essai au Seuil d'Audition de l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS).

### A. Le protocole d'essai

Le protocole d'essai débutera par une description détaillée des locaux utilisés pour les manipulations puis du matériel. Ensuite nous expliquerons comment l'étude a été réalisée et enfin on exposera les résultats qui en découlent.

#### 1. Description des locaux de mesures audiométriques



##### a) La cabine audiométrique de la Faculté de Pharmacie de Nancy

La cabine audiométrique est située en salle de travaux pratiques au sein de la Faculté de Pharmacie. Elle est utilisée pour la formation menant au D.E. d'Audioprothésiste et est à la disposition des étudiants (illustration 34).

Cette cabine est une cabine standard, que l'on pourrait retrouver chez n'importe quel audioprothésiste. Elle a pour dimensions 1m x 1m x 2m (surface de 1 m<sup>2</sup> et un volume de 2 m<sup>3</sup>).

ILLUSTRATION 34: CABINE DE MESURE  
AUDIOMETRIQUE DE LA FACULTE DE PHARMACIE  
DE NANCY



Nous rappelons comme expliqué précédemment (cf. I Les Normes) qu'il n'y a pas d'obligation en terme de volume pour une cabine audiométrique. Cette pièce est traitée acoustiquement tant au niveau de l'isolation qu'au niveau de la réverbération.

La cabine est munie d'une porte très isolante avec une poignée de manœuvre et des joints épais renforçant son isolation. On y trouve une fenêtre isolée sur une des parois.

Elle est équipée de deux haut-parleurs suspendus en position frontale (un haut-parleur droit et un gauche). Elle possède un système d'éclairage silencieux.

Le bruit de fond de cette cabine a été mesuré avant de réaliser les manipulations. Il a pour valeur 24 dB (A) [25]. Cette cabine respecte donc la norme et les recommandations des précis d'audioprothèse (cf. I A 1) le bruit de fond).

Enfin un audiomètre de type Otometrics Madsen Astera est installé à l'intérieur de la cabine (illustration 35).



ILLUSTRATION 35: AUDIOMETRE OTOMETRICS MADSEN ASTERA

b) Le Banc d'Essai au Seuil d'Audition (BESA) de l'INRS de Nancy

Le BESA est une chambre acoustique qui possède une surface au sol de  $15 \text{ m}^2$  et un volume de  $22 \text{ m}^3$ . Ce volume est donc en concordance avec ce qu'exige le décret n°85-590 du 10 juin 1985 [1], soit un volume minimum de  $15 \text{ m}^3$ .

Cette chambre acoustique possède des parois absorbantes et réfléchissantes. Les parois absorbantes sont de deux types, simple et double. La paroi simple (illustration 37) ne possède qu'un seul matériau dans son épaisseur tandis que la paroi double (illustration 36) en possède trois.

Elle est composée de deux matériaux massiques séparés d'une lame d'air qui peut être remplacée par du matériau absorbant (laine de roche, laine de verre, etc).

**Paroi simple**

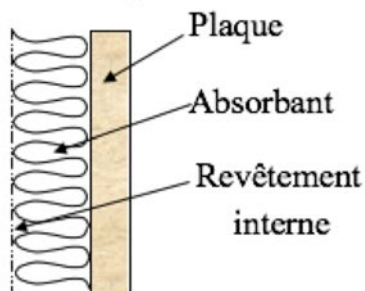


ILLUSTRATION 37: TRANCHE DE LA PAROI SIMPLE [25]

**Paroi doubles**

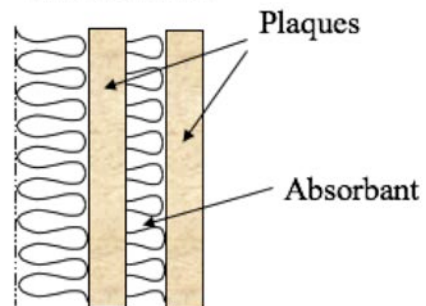


ILLUSTRATION 36: TRANCHE DE LA PAROI DOUBLE [25]

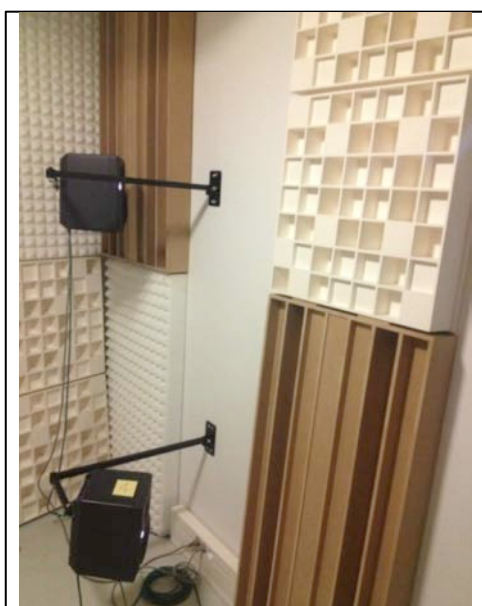


ILLUSTRATION 38: BANC D'ESSAI AU SEUIL D'AUDITION DE  
L'INRS DE NANCY

On trouve à l'intérieur, des diffuseurs de Schroeder (voir Illustration 38) et des surfaces convexes, pour répartir au mieux le champ acoustique (cf. I. B. 2. b : les transducteurs de sorties). En effet, ces diffuseurs ont pour fonction d'éviter l'apparition de modes acoustiques dus aux ondes stationnaires (cf. I. B. 3. a). (1) : les sons purs). Le champ acoustique de ce local est proche du champ diffus. Ainsi il n'y a pas d'incidences préférentielles dans l'émission des sons wobulés.

Cette salle possède un système de double porte pour mieux isoler l'espace intérieur de l'espace extérieur correspondant respectivement à l'espace d'essai et d'acquisition.

De plus le BESA possède un système de multidiffusion : des moniteurs de type Klein & Hummel O110, large bande, placés en regard des parois absorbantes et réfléchissantes (voir Illustration 38). Cela nous permet de nous placer dans des conditions de champ diffus.

Enfin, pour permettre la liaison entre le système informatique et le système de diffusion (haut-parleurs), sans perte d'isolation (porte semi-ouverte), les câbles passent à travers les murs, par l'intermédiaire d'un bac à sable (importante masse surfacique) (voir illustration 39).

Grâce à son important traitement acoustique, le BESA, dit cabine de référence, présente un niveau de bruit de fond très faible de 4,6 dB(A). Elle respecte donc, parfaitement, les normes sur le bruit de fond énoncé précédemment (cf. I. A. 1).

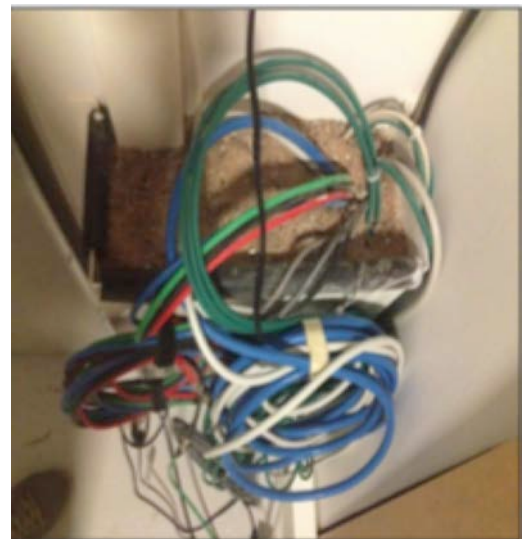


ILLUSTRATION 39: ISOLATION A TRAVERS LE BAC A SABLE [4]

## 2. Description du matériel de métrologie utilisé

### a) Générateur de sons

Pour notre étude, nous avons utilisé des sons wobulés, pour éviter la formation d'ondes stationnaires (cf. I. B. 3. 1) les sons purs), centrés respectivement sur 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 et 8000 Hz et de largeur fréquentielle équivalente à un tiers d'octave.

Deux méthodes d'émission, de ces sons, ont été utilisées. La première par l'intermédiaire d'un audiomètre et la deuxième par l'intermédiaire d'une plateforme écrite sous MATLAB.

## (1) AUDIOMETRE OTOMETRICS MADSEN ASTERA

L'audiomètre de type Otometrics Madsen Astera, est un audiomètre de classe 1 (cf. annexe 2). Il nécessite un étalonnage régulier. Nous avons donc, avant le début de cette étude, vérifié que la calibration était à jour.

Il est piloté par l'intermédiaire d'un ordinateur grâce au logiciel OTOSUITE (voir illustration 40). Ce dernier, permet la visualisation des courbes audiométriques et l'enregistrement des données.

Dans cette étude, les sons wobulés sont émis, de manière continue à intensité constante, respectivement sur chaque bande d'octave. Nous nous sommes servis de cet appareil dans le cadre de l'étude du champ acoustique au sein de la cabine audiométrique de Nancy.



ILLUSTRATION 40: AUDIOMETRE DE TYPE OTOMETRICS MADSEN ASTERA

## (2) PLATEFORME D'EMISSION DES SONS WOBULES

Lors de notre étude, au sein du Banc d'Essai au Seuil d'Audition, une plateforme écrite sous MATLAB a été utilisée.

Cette plateforme permet simplement de gérer l'émission des sons wobulés préenregistrés. Elle permet aussi, l'acquisition du signal du bouton poussoir du sujet testé quand une audiométrie est pratiquée.

Dans cette étude un système d'acquisition annexe a permis de recueillir les données.

### b) Système de diffusion sonore

Le système de diffusion, de type haut-parleurs, utilisé pour l'étude du champ acoustique en audiométrie tonale est différent entre celui de la cabine audiométrique de Nancy et celui du BESA de l'INRS de Nancy.

## (1) DANS LA CABINE AUDIOMETRIQUE DE LA FACULTE DE NANCY

Comme expliqué précédemment, cette cabine est équipée de deux haut-parleurs suspendus et en position frontale.

Un haut-parleur est placé dans l'angle en haut à droite et l'autre dans l'angle en haut à gauche (voir illustration 41). Ils sont orientés vers le centre de la cabine à l'endroit où pourrait se trouver un patient ou un système microphonique.

Compte tenu de son ancienneté, nous n'avons pas pu retrouver les caractéristiques techniques des haut-parleurs de cette cabine (critère de directivité, bande passante, etc).



ILLUSTRATION 41: SYSTEME DE DIFFUSION DE LA CABINE  
AUDIOMETRIQUE DE NANCY

## (2) DANS LE BESA A L'INRS

Les haut-parleurs de cette chambre acoustique sont des moniteurs large bande Klein & Hummel O110. Ceux sont des moniteurs relativement petits (268 x 170 x 190mm) avec une bande passante relativement large (56 Hz à 24 kHz).

Les haut-parleurs du BESA sont au nombre de huit et sont orientés vers les parois (illustration 38), réfléchissantes et absorbantes, pour homogénéiser au maximum le champ acoustique.



ILLUSTRATION 42: MESURE DE DIRECTIVITE DES HAUT-PARLEURS EN  
CHAMBRE SEMI-ANECHOÏQUE DE L'INRS

Avant de débiter nos mesures, nous avons pris le soin de mesurer, dans la chambre semi-anéchoïque de l'INRS (voir illustration 42), les critères de directivité de ses haut-parleurs dans la chambre semi-anéchoïque de l'INRS.

Cette mesure nous a permis de vérifier que leur directivité était relativement classique pour ce genre d'étude (voir illustration 43).

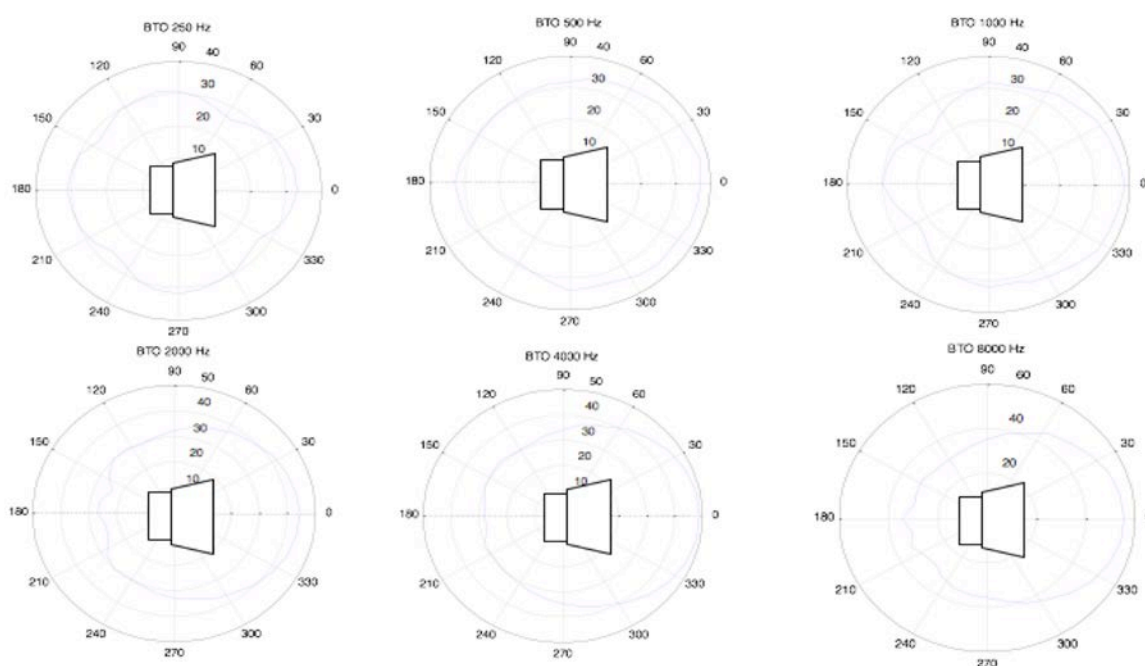


ILLUSTRATION 43: DIAGRAMMES DE DIRECTIVITE DES MONITEURS

D'après ces diagrammes de directivité, on peut voir que, plus on se déplace vers les hautes fréquences, plus le lobe principal devient relativement étroit et plus on se rapproche de l'octave 250 Hz plus ce lobe s'élargit.

Ces mesures semblent logiques car, en hautes fréquences les sons sont plus directifs, et inversement quand la fréquence diminue. En effet, plus on se rapproche des basses fréquences plus la source devient omnidirectionnelle.



#### c) Antenne microphonique

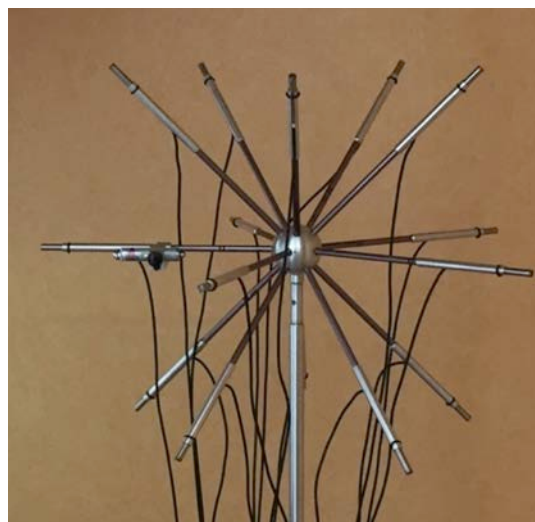


ILLUSTRATION 44: ANTENNE MICROPHONIQUE

Une antenne sphérique de 25 centimètres de rayon a été utilisée pour mesurer l'homogénéité du champ acoustique en champ libre. Elle est composée de 15 capteurs microphoniques  $\frac{1}{4}$  de pouce. Elle nous a permis de mesurer le champ acoustique autour de la tête. (Illustration 44).

Lors de notre étude, cette antenne nous a permis de recueillir les différents niveaux sonores par bande d'octave par l'intermédiaire d'un système d'acquisition décrit dans le paragraphe qui suit.

#### d) Système d'acquisition 16 voies Orchestra de 01 dB-METRAVIB

Pour notre étude, nous avons utilisé un seul système d'acquisition des données. Ce système d'acquisition est de type 16 voies Orchestra de 01 dB-METRAVIB. Les 16 voies de mesures que possède ce système, transmettent en temps réel les informations de chaque capteur, à l'ordinateur (illustration 45).

Le système d'acquisition est disposé à l'extérieur du local, dans lequel est effectuée la prise de mesure, afin que son ventilateur ne vienne pas la perturber.



ILLUSTRATION 45: SYSTEME D'ACQUISITION 16 VOIES ORCHESTRA DE 01 dB-METRAVIB

L'Orchestra est paramétré pour mesurer des spectres intégrer sur 10s par bande d'octave à partir de 31,5 Hz.

Enfin, ce système d'acquisition est piloté par un logiciel informatique dBFA Suite qui nous permettra d'analyser ces spectres.

## B. Mesure du champ acoustique

C'est dans cette partie, que nous allons présenter le protocole de mesures dans la cabine audiométrique de Nancy et au BESA puis nous interpréterons les résultats.

### 1. Dans la cabine audiométrique de la Faculté de Nancy

#### a) Déroulement des mesures

La cabine standard de mesures audiométriques est équipée, comme expliqué précédemment, d'un audiomètre Otometrics Madsen Astera et de deux haut-parleurs, suspendus en position frontale, pour permettre la diffusion des sons wobulés en « champ libre ».

Avant de commencer, nous avons préparé le matériel de mesure à l'intérieur de la cabine. À savoir, nous avons placé l'antenne microphonique au centre de la cabine, à l'emplacement où pourrait se trouver un patient testé. Cette antenne est réglable en hauteur, et nous avons choisi de la positionner à un mètre du sol pour représenter au mieux le sujet assis sur sa chaise (voir illustration 46).



ILLUSTRATION 46: EMBLACEMENT DE L'ANTENNE  
MICROPHONIQUE DANS LA CABINE AUDIOMETRIQUE



Ensuite, nous avons relié cette sphère au système d'acquisition 16 voies Orchestra de 01 dB-METRAVIB. Nous avons utilisé 15 voies étant donné que la sphère possède 15 capteurs microphoniques. Une fois reliée nous prenons soin de bien fermer la porte de la cabine pour éviter les pertes acoustiques.

Après avoir vérifié que l'audiomètre fonctionnait bien et que l'antenne réceptrice envoyait bien les données au logiciel dBFA par l'intermédiaire du système d'acquisition, nous avons pu commencer les mesures.

Le logiciel dBFA permet de tracer les niveaux équivalents  $L_{eq,T}$ , intégrés sur dix secondes, par bande d'octave. Les niveaux sont mesurés en dB Lin.

Un étudiant se chargeait d'envoyer les sons wobulés, de manière continue et à intensité constante, via l'audiomètre et l'autre lançait l'acquisition via l'ordinateur portable. Les mesures ont été réalisées plusieurs fois, pour chaque octave, pour s'assurer de leur reproductibilité. Nous allons donc expliquer les démarches utilisées pour atteindre le résultat final.

Après avoir relevé les différentes mesures sur chaque bande d'octave, nous avons pu tracer pour chaque octave, via un programme écrit sous MATLAB, tous les niveaux sonores mesurés autour de la tête du sujet testé (voir illustration 47).

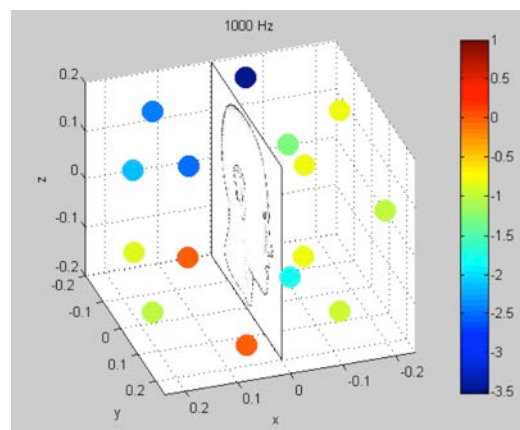


ILLUSTRATION 47: REPARTITION DES DIFFERENTS NIVEAUX SONORES AUTOUR DE LA TETE DU PATIENT A L'OCTAVE 1000 Hz

Sur ces illustrations, il ne s'agit pas des niveaux acoustiques absolus mais de la différence de ces niveaux par rapport au niveau maximum.

Ces différences de niveaux sont plus représentatives pour nous rendre compte de l'hétérogénéité du champ acoustique autour de la tête d'un sujet testé.

En l'occurrence dans cet exemple à l'octave 1000 Hz sur l'illustration 47, on remarque que le champ acoustique est très hétérogène avec des différences qui peuvent atteindre 3,5 dB.

Pour synthétiser facilement les résultats nous avons choisi de retenir les différences de niveaux dans les demi-espaces droit, gauche, avant et arrière de la sphère, et d'en faire la moyenne et l'écart-type (voir illustrations 48 et 49).

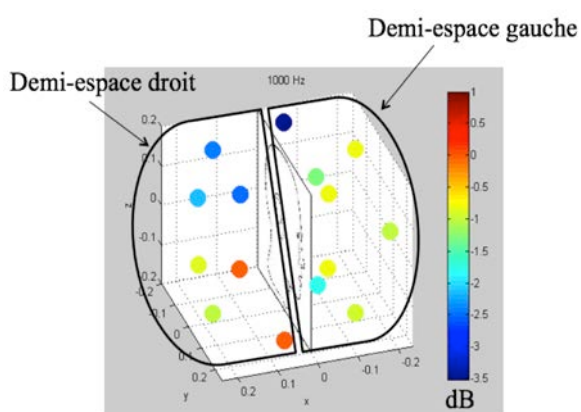


ILLUSTRATION 48: REPARTITION DES DIFFERENCES DE NIVEAUX SONORES MESUREES SUR L'ANTENNE DANS LES DEMI-ESPACE DROIT ET GAUCHE

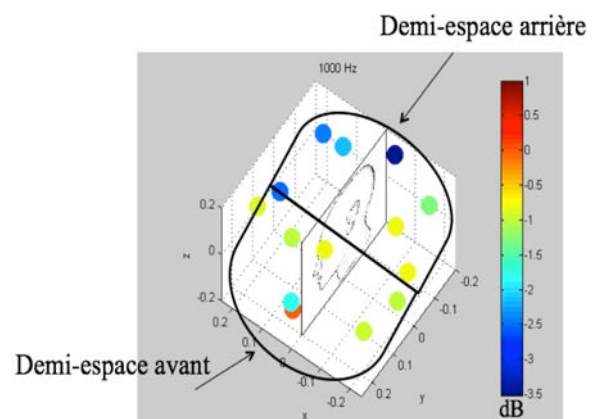


ILLUSTRATION 49: REPARTITION DES DIFFERENCES DE NIVEAUX SONORES MESUREES SUR L'ANTENNE DANS LES DEMI-ESPACES AVANT ET ARRIERE

Ceci nous a donc permis enfin, d'obtenir un spectre récapitulant ces moyennes par bande d'octave, en fonction des demi-espaces (voir illustrations 50 et 51 page suivante).

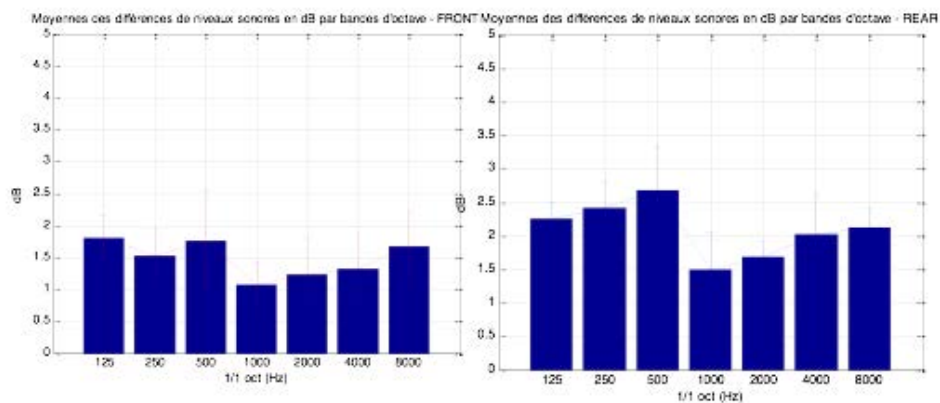


ILLUSTRATION 50: MOYENNE DES DIFFERENCES DE NIVEAUX SONORES EN dB PAR BANDE D'OCTAVE POUR LES DEMI-ESPACES DROIT ET GAUCHE OBTENU DE LA CABINE DE LA FACULTE DE PHARMACIE DE NANCY

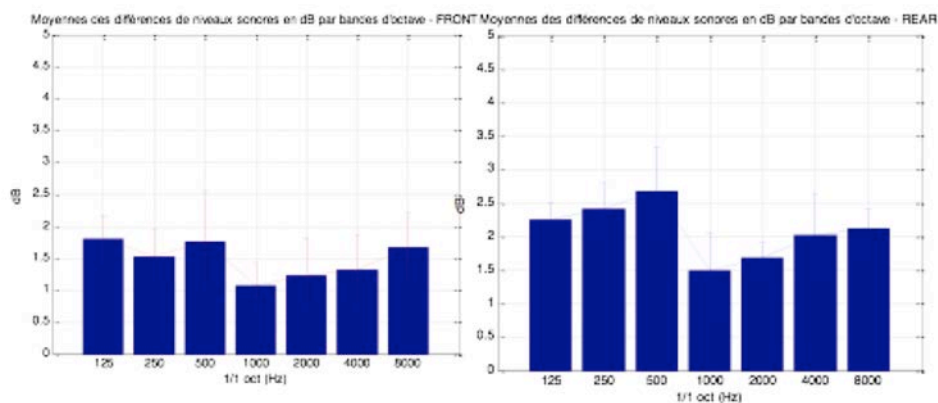


ILLUSTRATION 51: MOYENNE DES DIFFERENCES DE NIVEAUX SONORES EN dB PAR BANDE D'OCTAVE POUR LES DEMI-ESPACES AVANT ET ARRIERE OBTENU DE LA CABINE DE LA FACULTE DE PHARMACIE DE NANCY

C'est à partir de ce spectre, résumant les moyennes des différences de niveaux sonores, que l'on va pouvoir constater l'homogénéité du champ acoustique pour l'audiométrie tonale en champ libre.

## b) Résultats

L'utilisation du logiciel dBFA, qui pilote le système d'acquisition 16 voies Orchestra de 01 dB-METRAVIB, nous a permis d'extraire la totalité des valeurs sur une fiche Excel (exemple illustration 52).

Moy Diff D	Moy Diff G
2,262	2,149
3,097	3,122
3,163	3,041
1,887	1,949
1,953	2,068
2,141	1,669
1,882	1,975
2,218	2,187
2,636	2,646
2,104	2,105
1,7	1,85
2,371	2,378
2,048	2,165
2,683	2,528
3,121	3,193
2,467	2,105
3,173	3,355
2,111	2,374
2,195	2,199
2,597	2,447
2,488	2,518

ILLUSTRATION 52: EXEMPLE DE RESULTATS SUR FICHE EXCEL ENTRE LE DEMI-ESPACE DROIT ET GAUCHE

Nous avons pu ainsi synthétiser et comparer les mesures pour les demi-espaces droit/gauche et avant/arrière. Les illustrations 53 et 54 représentent les différences des niveaux sonores en décibels du champ acoustique obtenus dans la cabine audiométrique, moyennées dans ces demi-espaces.

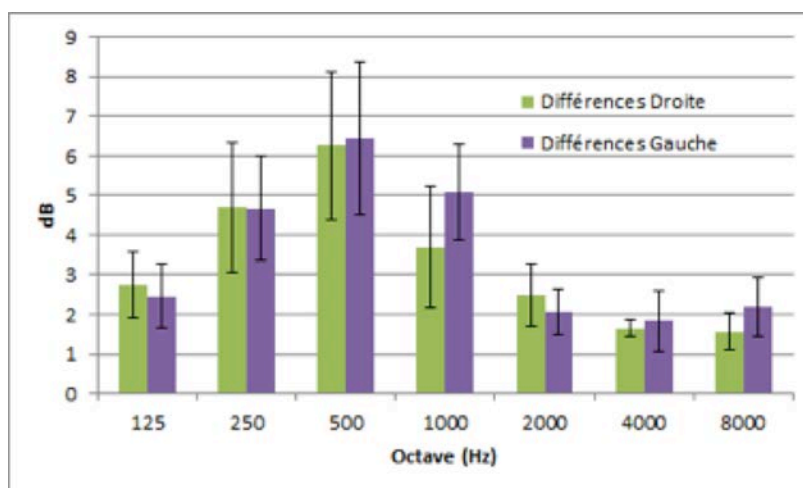


ILLUSTRATION 53: DIFFERENCES DES NIVEAUX SONORES EN dB DU CHAMP ACOUSTIQUE MOYENNEES DANS LE DEMI-ESPACE DROIT ET GAUCHE

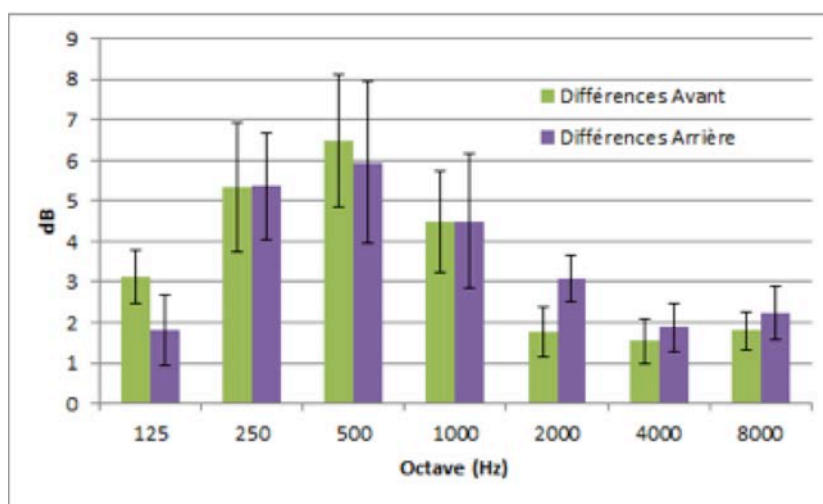


ILLUSTRATION 54: DIFFERENCES DES NIVEAUX SONORES EN dB DU CHAMP ACOUSTIQUE MOYENNES DANS LE DEMI-ESPACE AVANT ET ARRIERE

À partir de ces graphiques comparatifs des demi-espaces, nous pouvons voir qu'il y a, sur une large étendue du spectre de 250 à 1000 Hz, une hétérogénéité du champ acoustique qui atteint 5 dB à 250 Hz, 6 dB à 500 Hz et 4,5 dB à 1000 Hz.

De plus si on prend en compte l'écart type indiqué, on remarque que cette hétérogénéité peut vite être importante, et atteindre des valeurs allant de 6 dB à 8 dB sur ces trois octaves. On peut donc en déduire que nous sommes en présence d'ondes

stationnaires (cf. I. B. 3. a) (1) les sons purs) responsables de ces modes acoustiques présents sur ces trois zones fréquentielles.

Maintenant, si on analyse les autres octaves telles que le 125, 2000, 4000 et 8000 Hz, nous pouvons voir que les différences avoisinent les 3 dB maximum. Nous sommes donc sur des différences relativement correctes permettant de dire que le champ acoustique est relativement homogène pour ces octaves.

Au vu de ces deux graphiques, on peut dire que le champ acoustique dans une cabine audiométrique standard, lors de la réalisation d'une audiométrie tonale en champ libre, est hétérogène et que celui-ci peut entraîner des disparités dans les résultats.

Par exemple, dans la zone fréquentielle du 250 Hz au 1000 Hz, le moindre décalage ou déplacement de la tête peut engendrer des erreurs de perception auditive et par conséquent d'évaluation des seuils liminaires.

Nous allons maintenant voir les résultats que l'on a tenus au BESA, considéré comme salle de référence.

## 2. Dans le Banc d'Essai au Seuil d'Audition de l'INRS de Nancy

### a) Déroulement des mesures

La réalisation des mesures, au BESA, se déroule de manière sensiblement identique à l'étude réalisée dans la cabine audiométrique de la Faculté de Pharmacie de Nancy.

En effet, nous avons utilisé la même antenne microphonique que l'on a pris soin de placer à l'endroit de la tête des sujets testés (voir illustration 55). Le centre de la cabine est repéré au sol par une croix rouge afin de faciliter le positionnement du matériel de réception.

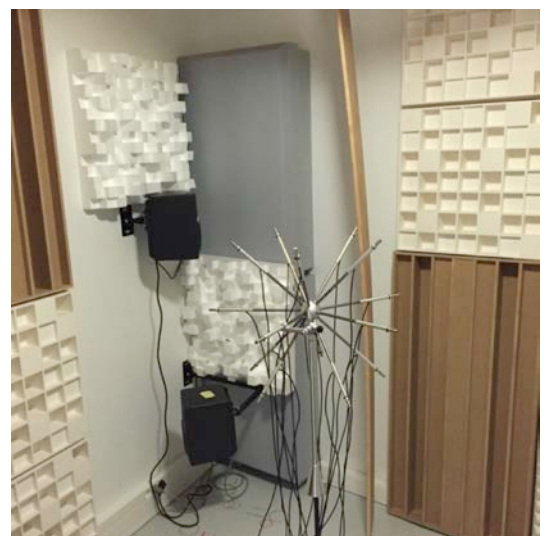


ILLUSTRATION 55: POSITIONNEMENT DE L'ANTENNE MICROPHONIQUE  
AU BESA

L'antenne de réception envoie les signaux au même système d'acquisition que celui utilisé pour les mesures dans la cabine audiométrique de la Faculté de Nancy, à savoir le système 16 voies Orchestra de 01 dB-METRAVIB qui est piloté par le logiciel dBFA. Ce logiciel nous permet, comme avant, de récupérer les différents niveaux sonores équivalents  $L_{eq,T}$  intégrés sur dix secondes, par bande d'octave.

La seule différence notable entre les deux mesures se situe au niveau de l'émission des sons wobulés. Ceux-ci ont été émis par les 8 moniteurs isolés à une carte SM pilotée par un logiciel écrit sur Matlab.

Une fois, la double porte du BESA totalement fermée et le matériel correctement placé et connecté, nous avons pu débiter les mesures. Les mesures ont été réalisées plusieurs fois afin de s'assurer de leur reproductibilité.

Nous avons suivi le même protocole que pour la cabine audiométrique en travaillant avec la différence des niveaux sonores moyennés sur les différents demi-espaces (droit, gauche, avant, arrière), pour synthétiser aisément les résultats.

Grâce au même programme écrit sur MATLAB nous avons pu nous rendre compte de l'homogénéité du champ acoustique autour de la tête du sujet testé (voir illustration 57).

## b) Résultats

À partir de ces deux graphiques comparatifs des différents demi-espaces (illustrations 56 et 57 page suivante), nous pouvons voir que sur l'ensemble du spectre, nous obtenons des différences comprises entre 1 dB et 3 dB sauf sur l'octave 250 Hz.

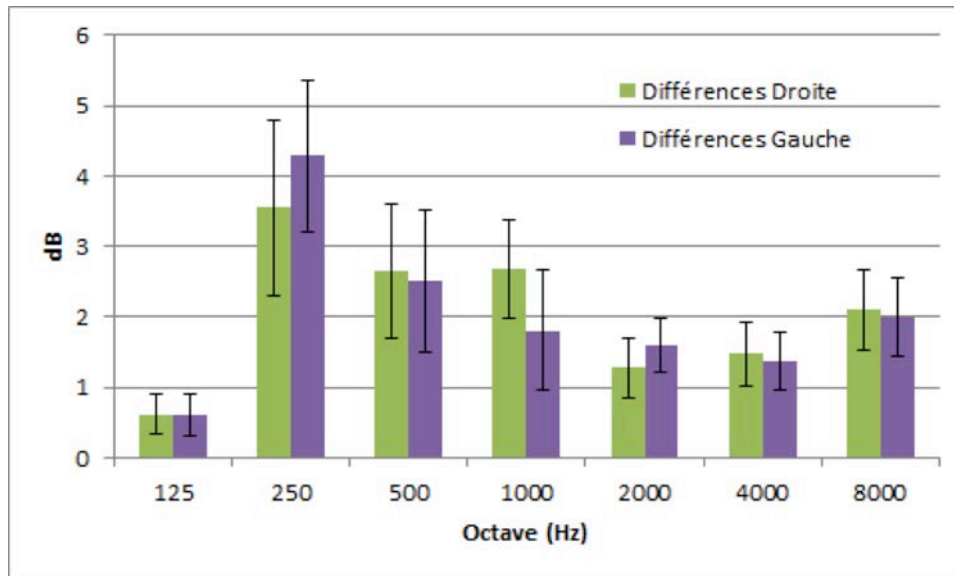


ILLUSTRATION 57: DIFFERENCES DES NIVEAUX SONORES EN dB DU CHAMP ACOUSTIQUE MOYENNES DANS LE DEMI-ESPACE DROIT ET GAUCHE

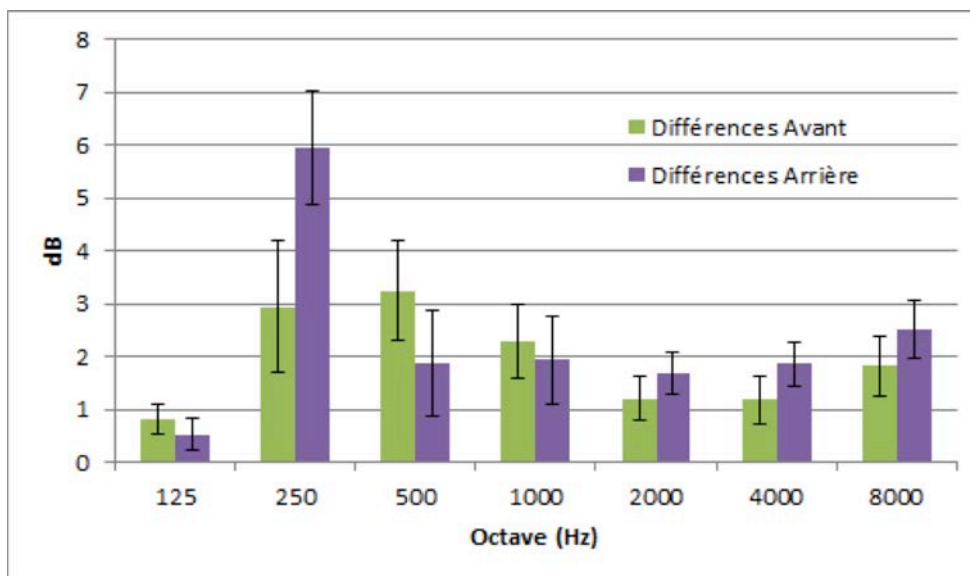


ILLUSTRATION 56: DIFFERENCES DES NIVEAUX SONORES EN dB DU CHAMP ACOUSTIQUE MOYENNES DANS LE DEMI-ESPACE AVANT ET ARRIERE

Malgré le fait d'avoir placé des diffuseurs de Schroeder, pour casser les éventuels modes acoustiques de la salle, une émergence de ces modes persistent à cette fréquence.

En effet, à cet octave les différences peuvent atteindre 6 dB voire 7 dB en prenant en compte l'écart type.

On peut donc qu'au vu des résultats obtenus au Banc d'Essai au Seuil d'audition que le champ acoustique est relativement homogène sauf pour l'octave 250 Hz.

Pour éliminer ces modes acoustiques présents sur la fréquence du 250 Hz il sera nécessaire d'améliorer les dispositifs de diffusion et d'absorption.

### 3. Conclusion

Pour conclure, nous avons réalisé un graphique comparatif tout demis-espaces confondus des deux salles audiométriques (voir illustration 58).

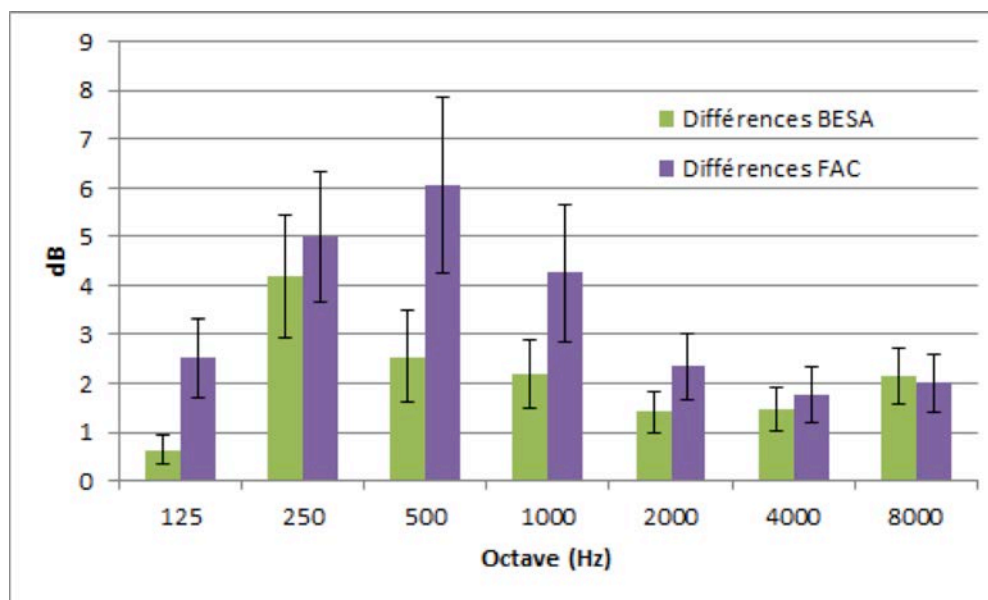


ILLUSTRATION 58: GRAPHIQUE COMPARATIF DES DIFFERENCES DE NIVEAU SONORE EN DB DU CHAMP ACOUSTIQUE AU BESA ET DANS LA CABINE AUDIOMETRIQUE DE LA FACULTE

Ce graphique nous montre une grande différence entre la salle de référence (BESA) et la cabine audiométrique. En effet, sur toutes les octaves et surtout sur le 250, 500 et 1000 Hz, on remarque que, les différences de niveaux sonores sont toutes plus importantes pour la cabine audiométrique que pour le BESA. Cela peut entraîner de grandes disparités lorsque l'on mesure des seuils en audiométrie tonale.

Enfin, au vu des résultats obtenus, nous pouvons dire qu'il est important de traiter acoustiquement les cabines audiométriques en plus du traitement acoustique réalisé en amont par le fabricant. Pour cela, nous conseillons de rajouter des diffuseurs de Schroeder basses fréquences sur les parois, pour homogénéiser le champ acoustique.

Si la cabine le permet (volume et surface) on peut rajouter des surfaces convexes pour améliorer la diffusion du son.

Cette étude objective sera vérifiée, dans le cadre d'une étude clinique qui sera réalisée dans la troisième partie.



## II. L'audiométrie vocale

Dans cette partie, l'étude de l'homogénéité du champ acoustique s'est effectuée dans un local répondant aux caractéristiques d'un local de mesure type : un bureau isolé et insonorisé dans lequel un audioprothésiste pourrait exercer au quotidien. La salle ayant des caractéristiques acoustiques fixes, l'homogénéité a été étudiée en fonction de la configuration spatiale des haut-parleurs. Nous avons essayé de couvrir l'ensemble des agencements possibles avec 2 haut-parleurs (HP), 3 HP et 5 HP respectivement.

### A. Le protocole d'essai

Le matériel de métrologie employé ainsi que la méthode d'acquisition des mesures sont très proches de ceux employés lors de l'étude dans l'audiométrie tonale. Nous allons donc effectuer un rappel de la procédure utilisée puis approfondir les parties propres à la méthode dans l'audiométrie vocale. Dans un premier temps nous avons étudié différentes configurations de haut-parleurs. Puis, sur la base de ces mesures, nous avons retenu les meilleures et les pires configurations dans chacune des 3 catégories : avec 2 HP, avec 3 HP et avec 5 HP. Cela nous a permis d'étudier leurs conséquences sur le SII (voir Première partie, I. B. 4. Les indicateurs objectifs de mesures), et ainsi observer ou non un impact sur l'intelligibilité objective.

#### 1. Description du local

Le local employé pour cette série de mesure est traité acoustiquement pour être dédié à la stéréo-audiométrie et à la localisation spatiale. Il est muni de parois simples, absorbantes et perforées, afin de réduire au mieux des modes éventuels (voir illustration 37 page 52), et absorber suffisamment pour répondre conformément au décret n°85-590 (voir Première partie, I. A. 1. b) décret n°85-590) :

Octaves (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Tr (s)	0,46	0,32	0,3	0,27	0,26	0,24	0,25
L eq, 30s (Lin)	35,5	30,7	27,9	24,5	21,9	19,9	14,2

ILLUSTRATION 59: TEMPS DE REVERBERATION ET BRUIT DE FOND MOYENNE SUR 30s DE LA SALLE DE TEST DE STEREOLOCALISATION

Même si les dimensions sont légèrement supérieures à  $16\text{m}^3$ , environ  $22\text{m}^3$ , le niveau moyen du bruit de fond est inférieur à 40 dB A. De plus, les valeurs du  $T_r$ , à peu près égales à 0,3s sur l'octave 250 Hz et inférieures à 0,3s sur les octaves supérieures à 250 Hz, respectent les recommandations du précis d'audioprothèse, concernant les locaux dédiés à la stéréoaudiométrie (voir Première partie, I. A. 2. Le volume du local). Le local répond donc aux exigences et se veut représentatif d'un local de mesure lambda.



ILLUSTRATION 60: SALLE DE STEREOAUDIOMETRIE. EN FOND KEMAR ENTOURE DES 5 HAUT-PARLEURS DE LA SALLE. SYSTEME D'ACQUISITION EN PREMIER PLAN.

## 2. Description du matériel de métrologie utilisé

La première étape de la mesure étant analogue à celle employée pour l'audiométrie tonale, nous avons utilisé la même antenne réceptrice, le même système d'acquisition 16 voies ORCHESTRA de 01 dB, ainsi que les mêmes logiciels d'analyse et de traitement des mesures – dBFA et Matlab.

### a) Système de diffusion

La salle de stéréo-audiométrie contient 5 moniteurs large bande Klein & Hummel O110 (voir Deuxième partie, I. A. 2. b) (2) Système de diffusion dans le BESA) – 1 haut-parleur central et 4 haut-parleurs latéraux, pilotés grâce au logiciel *Biosound*. Il est alors

possible de choisir lequel ou lesquels de ces moniteurs diffusent des signaux de parole et de bruit. Lors de la calibration, il est possible d'ajuster sur chaque moniteur la réponse en fréquence grâce à trois potentiomètres correspondants à trois canaux de réglage « grave, medium et aigu ».

#### b) Signaux employés

Dans la première partie de l'étude vocale, l'homogénéité du champ acoustique est mesurée en utilisant un bruit blanc (voir Première partie, I. B. 3. b) (1) Le bruit blanc). Ce bruit large bande nous permet d'obtenir une densité spectrale égale sur chaque octave étudiée.

Lors de la seconde partie de cette étude, le SII est calculé grâce à la confrontation d'un signal de parole et d'un signal de bruit. Pour des raisons de reproductibilité et de neutralité, l'ISTS est choisi comme signal de parole. Concernant le masqueur, le bruit de « cocktail-party » est employé pour simuler une audiométrie vocale dans le bruit (voir Première partie, I. B. 3. b) (2) « cocktail-party » et (3) L'ISTS).

#### c) Kemar [38]

Kemar, pour *Knowles Electronic Manikin for Acoustical Research*, est un mannequin développé pour la recherche et le développement des prothèses auditives. Composé d'un buste et d'une tête avec une paire d'oreilles en silicone, il reproduit les caractéristiques humaines pour simuler les diffractions des ondes sonores sur des parties du corps comme le pavillon, les épaules et le torse. Les oreilles sont équipées de coupleurs CEI 711, répondant aux critères d'un simulateur d'oreille : avec une impédance propre, il possède une fréquence de résonance correspondante à celle du conduit auditif externe humain (voir Première partie, I. B. 1. a) La fonction de transfert du conduit auditif externe). Ce doublet de coupleur possède des microphones permettant de recueillir le signal en fond de conduit.

Le Kemar a été utilisé pendant la seconde partie de l'étude, lors de l'estimation du SII : son utilisation nous a alors permis d'obtenir des valeurs plus fiables et plus objectives

qu'avec une cohorte de patients, de part le caractère standardisé des coupleurs CEI 711. Les deux coupleurs sont reliés au système d'acquisition ORCHESTRA, utilisé ici en 2 voies. Le signal a ainsi pu être recueilli grâce au logiciel dBFA et le SII calculé grâce à une plateforme Matlab.

Sur l'illustration 60 (page 68), nous pouvons en effet visualiser le Kemar, avec les deux câbles reliant les coupleurs au système d'acquisition, posé sur le bureau en premier plan. L'ordinateur servant à recueillir les mesures est placé derrière la porte, de sorte à ne pas les impacter en raison de son bruit de fonctionnement.

## B. Etude du champ acoustique dans le local dédié à l'audiométrie vocale

### 1. Déroulement des mesures

La problématique est d'analyser les différentes configurations de haut-parleurs afin de déterminer pour quelles positions, le champ acoustique se trouve être le plus hétérogène. Pour se faire, la méthode employée est strictement la même que celle utilisée pour l'étude du champ acoustique dans la cabine audiométrique et le BESA : le bruit blanc, diffusé sur les 2, 3 ou 5 haut-parleurs via Biosound, est recueilli par les 15 capteurs de l'antenne réceptrice puis analysé en bande d'octaves par le logiciel dBFA. Un traitement des données par la plateforme MatLab permet ensuite la représentation spatiale du champ (illustration 47 page 59), ainsi que la synthèse des résultats sous la forme de demi-espaces droit/gauche et avant/arrière (illustrations 48 et 49 page 60). L'algorithme crée également un tableau comparatif entre chaque demi-espace (illustrations 50 et 51 page 61). On obtient alors, par bande d'octave, la moyenne des différences sur le demi-espace droit comparée à la moyenne des différences sur le demi-espace gauche, et pour les demi-espaces avant et arrière. C'est par la comparaison de chaque demis-espaces entre eux, pour chaque configuration, que nous avons pu déterminer lesquels posent plus de problème que d'autres. La calibration des haut-parleurs du système de diffusion est contrôlée avant chaque session de mesure.

Les différentes positions étudiées balayent au maximum l'ensemble des configurations suggérées au travers des différentes recommandations audiométriques et normes sur les placements des hauts parleurs (voir Première partie, I. B. 2. b) Les transducteurs de sortie). Il en résulte 3 types de configurations comprenant respectivement 2 haut-parleurs, 3 HP et 5 HP. Les distances recommandées par l'ITU étant importantes proportionnellement à la taille du local, 2 à 3m, il a été choisi de faire varier la distance des haut-parleurs à 0,8m, 1m et 1,2m.



ILLUSTRATION 61: POSITIONNEMENT DE L'ANTENNE MICROPHONIQUE ET DES HAUT-PARLEURS DANS LA SALLE DE STEREOLOCALISATION.

Concernant le déroulement des mesures d'un point de vue pratique, les haut-parleurs ont été positionnés grâce à un rapporteur, fixe, de 360° et un mètre. L'antenne, montée sur un trépied, a permis le positionnement du rapporteur en dessous de la potence. L'axe à 0° est ajusté grâce à un pointeur laser, fixé sur le capteur de référence. Lors des dispositions avec 3 et 5 HP, le laser a permis de s'assurer que l'antenne est toujours en face du haut-parleur central immobile.

Nous allons maintenant présenter les différents résultats obtenus pour chaque configuration. Les différences observées dans chaque demi-sphères (Droite/Gauche,

Avant/Arrière) sont synthétisées sur un diagramme de localisation. Un point à une distance donnée et une orientation donnée correspond à une configuration. Il faut garder à l'esprit qu'une demi-sphère correspond à la moyenne des différences de pression observées sur l'ensemble des capteurs constituant le demi-espace. Les moyennes sont calculées sur l'ensemble du spectre étudié, de 125 Hz à 8 kHz.

#### a) Mesures avec 2 haut-parleurs

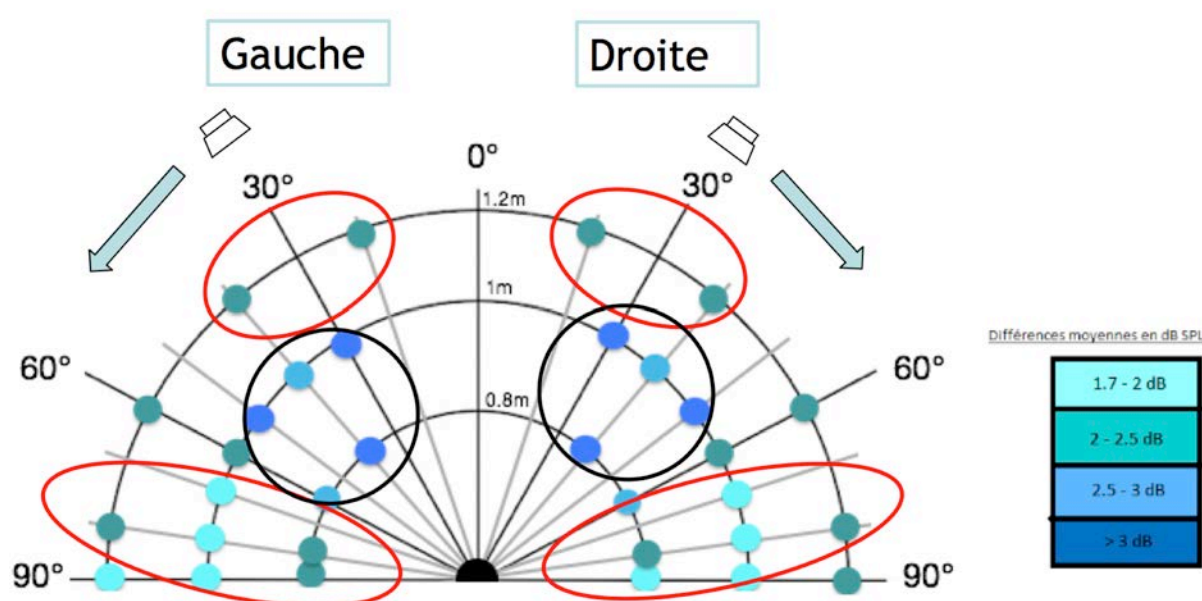


ILLUSTRATION 62: DIFFERENCES DE NIVEAU SONORE MOYENNES DANS LES DEMI-ESPACES DROIT ET GAUCHE POUR CHAQUE CONFIGURATION AVEC 2 HAUT-PARLEURS

Ces mesures (illustration 62) ont balayé l'espace situé devant le patient (0°) de 20° jusqu'à 90°, avec 3 distances différentes, à 0,8m, 1m et 1,2m, pour un total de 16 mesures. Toutes les mesures intermédiaires (0,8m et 1,2m) n'ont pas été effectuées, les résultats obtenus étant suffisants pour l'interprétation.

Sur le schéma, une sphère et sa symétrique par rapport à l'axe 0° correspondent à une configuration. Une sphère correspond donc à la moyenne des différences de pression observées sur chaque fréquence sur un demi-espace.



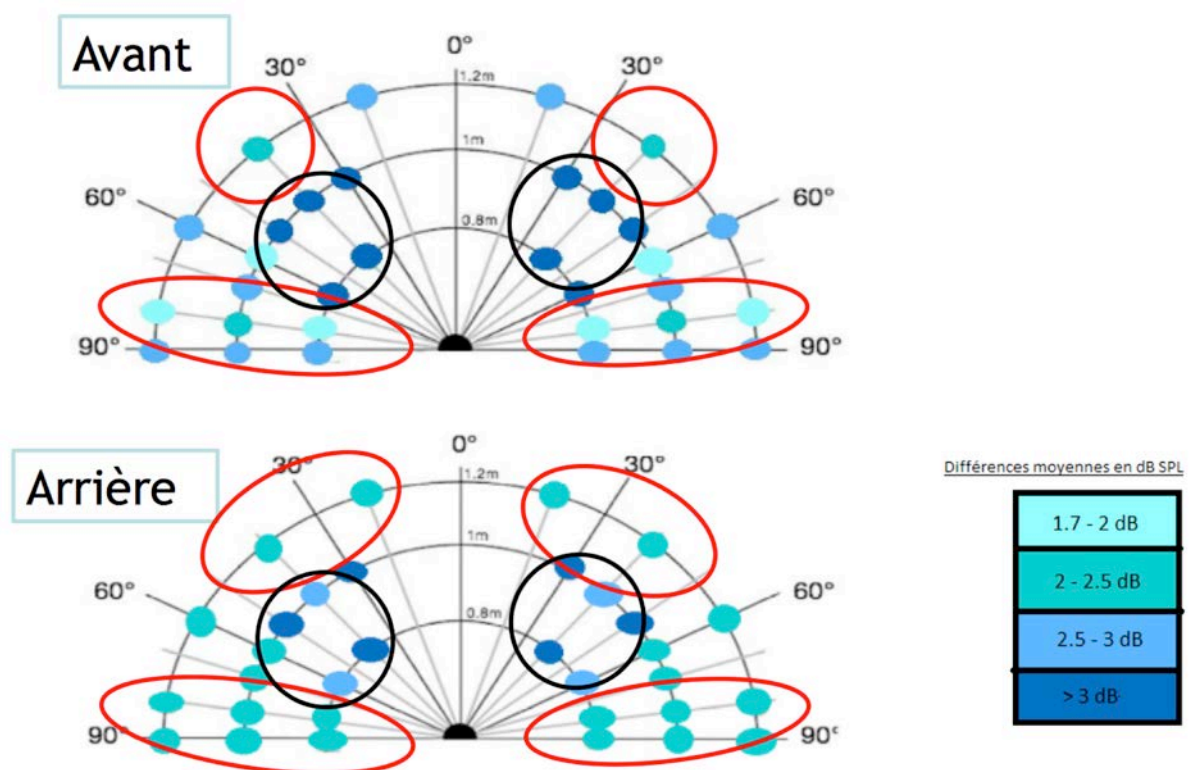


ILLUSTRATION 63: DIFFERENCES DE NIVEAUX SONORES MOYENNES DANS LES DEMI-ESPACES AVANT ET ARRIERE POUR CHAQUE CONFIGURATION AVEC 2 HAUT-PARLEURS

Ces résultats suggèrent que le champ acoustique devient plus homogène à mesure qu'on s'éloigne latéralement et en profondeur de l'avant du sujet testé (sur les illustrations 62 et 63 en rouge). Une zone critique apparaît vers 45° lorsque les hauts parleurs sont très proches (sur les illustrations 62 et 63 en noir), laissant présager que ces configurations présenteraient un champ plus hétérogène qui pourrait impacter la compréhension, avec des écarts supérieurs à 3 dB.

#### b) Mesures avec 3 haut-parleurs

Les mesures avec 3 haut-parleurs ont été réalisées de la manière suivante : 1 haut-parleur central fixe et 2 haut-parleurs latéraux, mobiles de 30° à 150°. Tout comme les mesures précédentes, la distance varie entre 0,8m, 1m et 1,20m. 49 mesures ont été effectuées. Ces mesures sont synthétisées sur les illustrations 64, 65 et 66 pages suivantes.

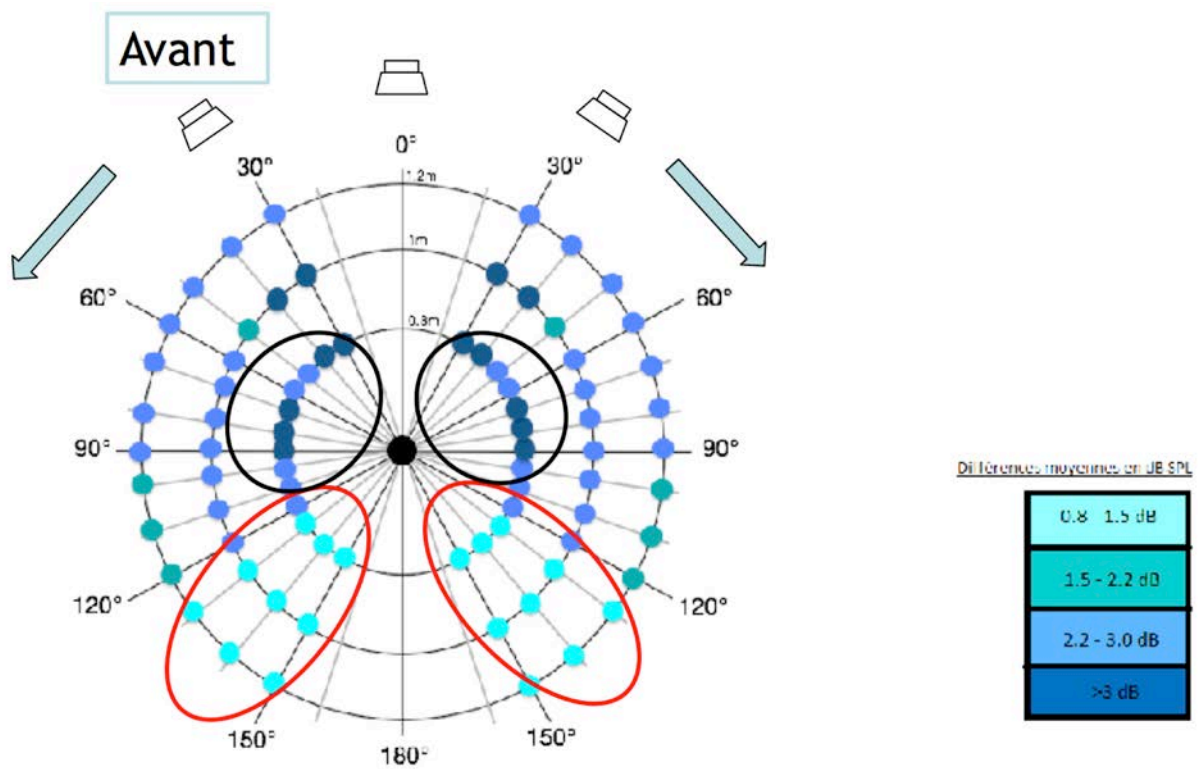


ILLUSTRATION 64: DIFFERENCES DE NIVEAUX SONORES MOYENNES DANS LE DEMI-ESPACE AVANT POUR CHAQUE CONFIGURATION AVEC 3 HAUT-PARLEURS

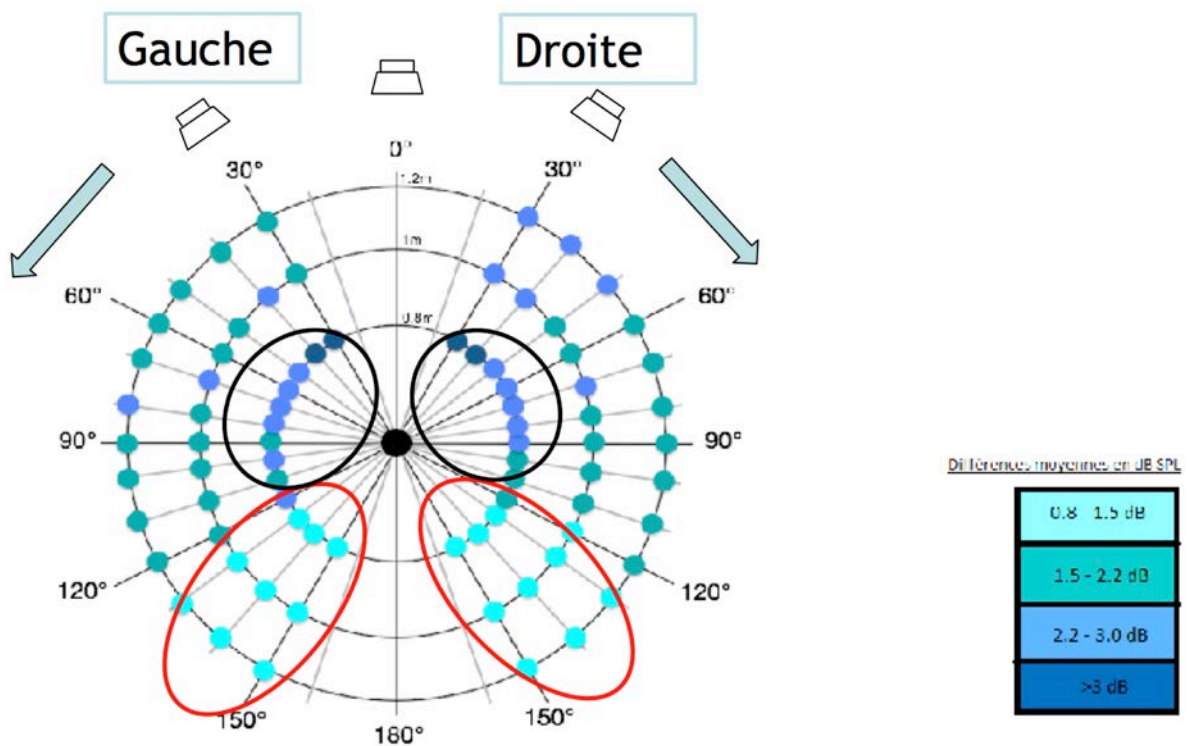


ILLUSTRATION 65: DIFFERENCES DE NIVEAUX SONORES MOYENNES DANS LES DEMI-ESPACES DROIT ET GAUCHE POUR CHAQUE CONFIGURATION AVEC 3 HAUT-PARLEURS



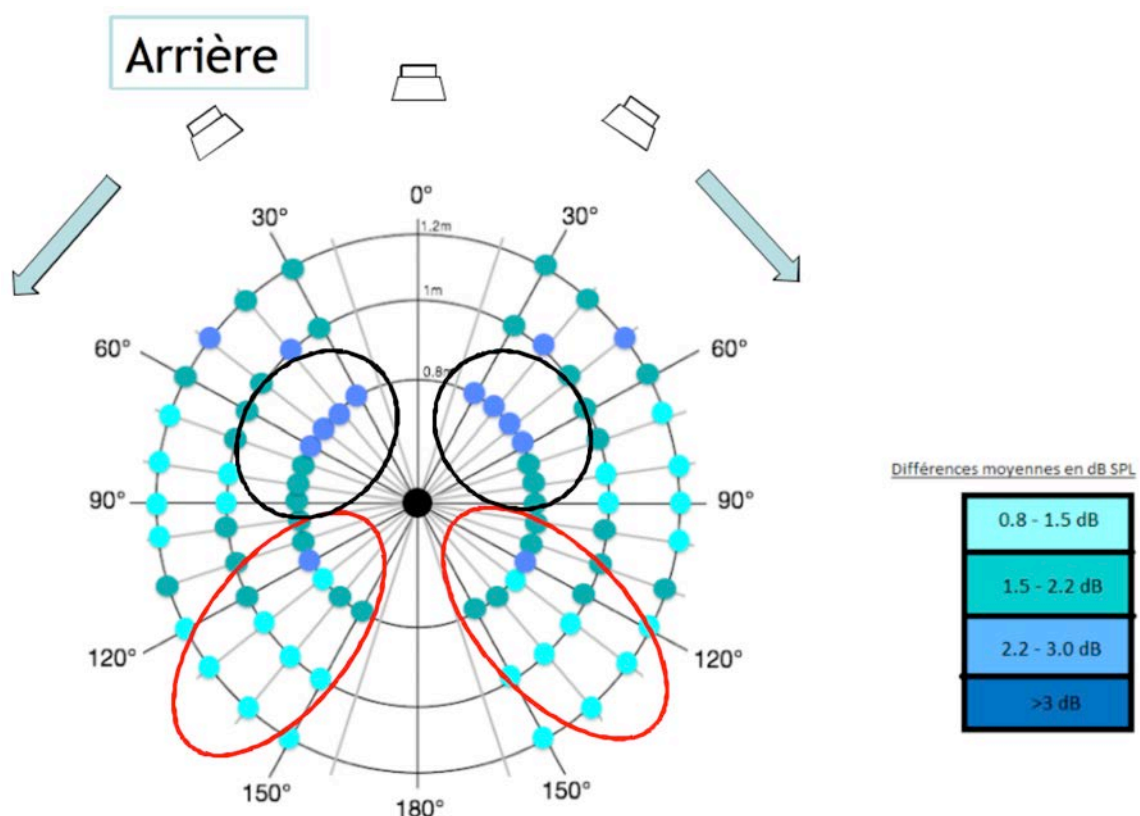


ILLUSTRATION 66: DIFFÉRENCES DE NIVEAUX SONORES MOYENNES DANS LES DEMI-ESPACES ARRIÈRE POUR CHAQUE CONFIGURATION AVEC 3 HAUT-PARLEURS

Ces représentations montrent que même en confondant les différences observables dans les demi-sphères droite, gauche, avant et arrière, les zones critiques et les zones les plus avantageuses restent dans les mêmes emplacements. Cela laisse sous-entendre que le champ acoustique serait plus homogène lorsqu'on s'éloigne du patient, avec les haut-parleurs latéraux derrière lui (illustrations 64, 65 et 66 : en rouge), avec des faibles différences ( $< 1,5$  dB). A l'inverse, lorsqu'on se rapproche du patient et lorsqu'on resserre les haut-parleurs latéraux devant lui, le champ serait plus hétérogène (illustration 64, 65 et 66 : en noir). Tout comme les résultats obtenus avec 2 haut-parleurs, dans les pires conditions les différences observables dépassent 3 dB.

### c) Mesures avec 5 haut-parleurs

Comme le montre les illustrations 67 et 68, les mesures à 5 haut-parleurs ont été effectuées par l'intermédiaire de 1 moniteur central et 4 moniteurs mobiles. Encore une fois, la distance a varié entre 0,8m, 1m et 1,20m.

Concernant l'orientation de chaque haut-parleur mobile, chacun s'est vu attribué un quadrant de 90°. Lorsqu'un haut-parleur est situé à 30°, son homologue arrière est situé à 150°. Ainsi, lorsque le premier finit à 60°, le deuxième finit à 120° (exemple illustration 67). 16 mesures ont été effectuées.

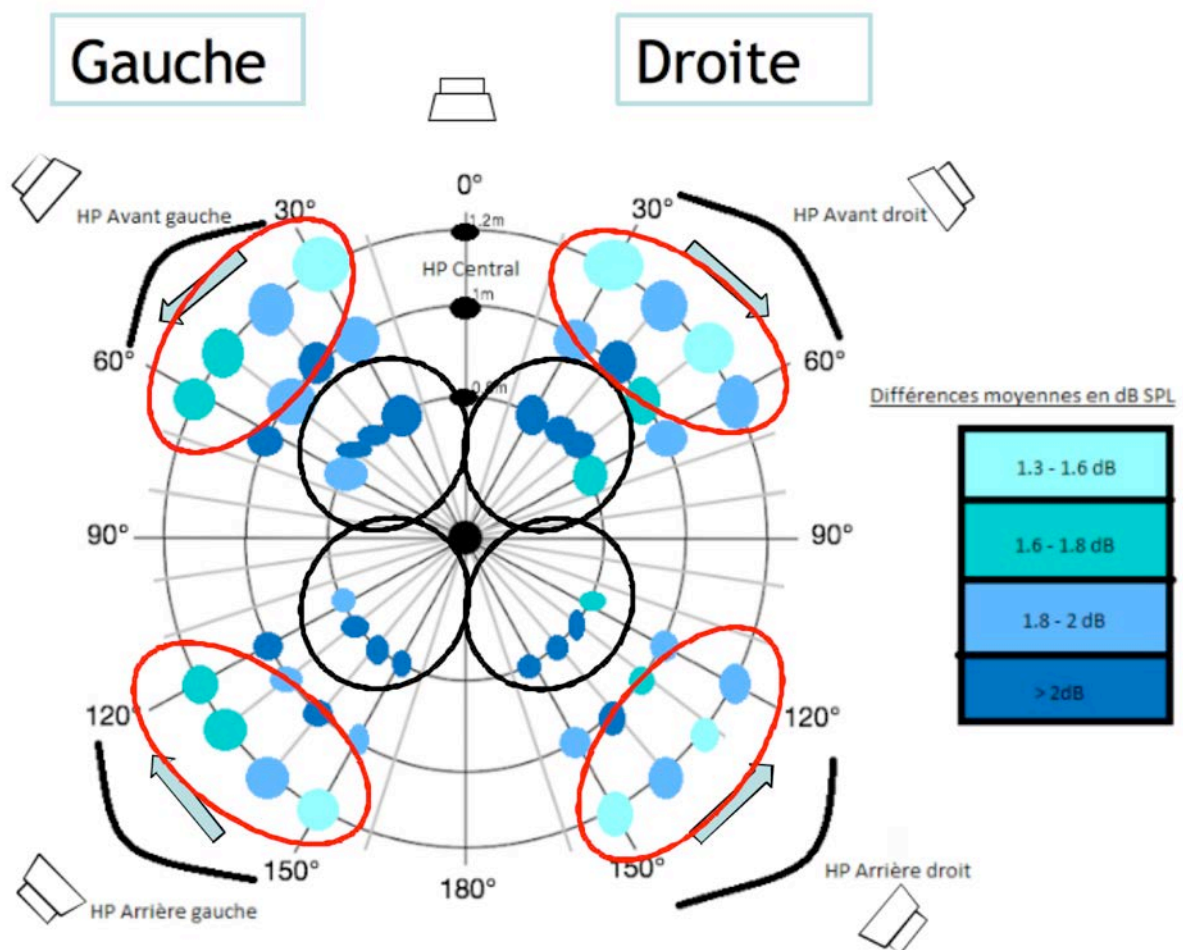


ILLUSTRATION 67: DIFFERENCES DE NIVEAUX SONORES MOYENNES DANS LES DEMI-ESPACES DROIT ET GAUCHE POUR CHAQUE CONFIGURATION AVEC 5 HAUT-PARLEURS

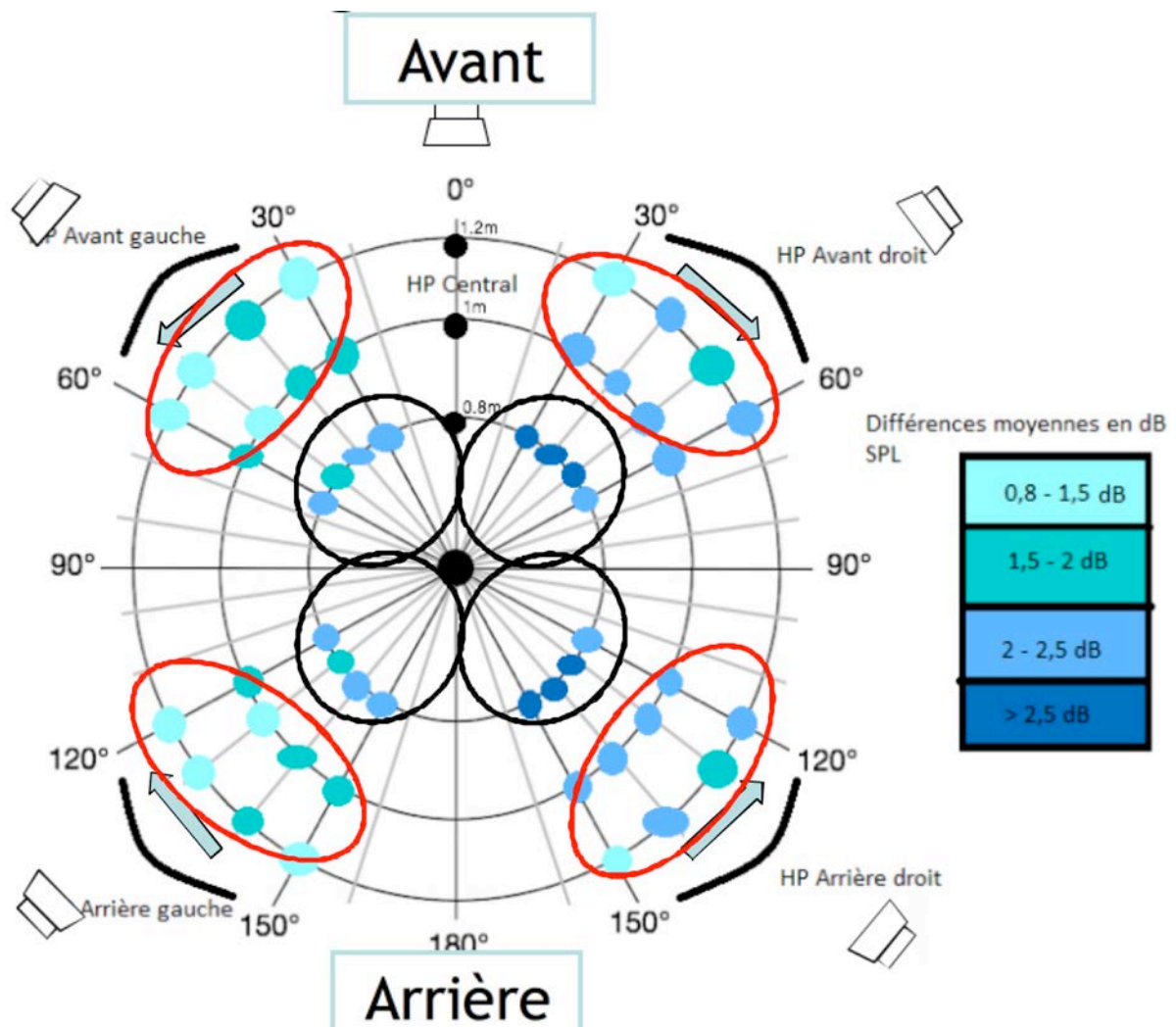


ILLUSTRATION 68: DIFFERENCES DE NIVEAUX SONORES MOYENNES DANS LES DEMI-ESPACES AVANT ET ARRIERE POUR CHAQUE CONFIGURATION AVEC 5 HAUT-PARLEURS

Grossièrement, les illustrations 67 et 68 suggèrent que le champ acoustique est relativement homogène quelque soit la configuration spatiale employée, à condition que les haut-parleurs soient relativement éloignés du patient, en l'occurrence à une distance d'environ 1 mètre (configurations « optimistes » en rouge, par opposition aux configurations plus « pessimistes » en noir).

## 2. Interprétation globale des résultats

Cette campagne de mesures a permis plusieurs observations. En premier lieu, il semblerait que, lorsque le nombre de haut-parleurs augmente, les différences maximales observées sont moins importantes : une augmentation du nombre de haut-parleurs signifierait alors un champ acoustique plus homogène.

Il est important de notifier que même dans les configurations les plus optimistes, les différences les plus basses atteignent en moyenne environ 1 dB. Dans le cadre d'une surdité, à des niveaux supraliminaires, le recrutement peut réduire le niveau différentiel d'intensité à cette valeur. Reste à savoir si cela peut avoir un impact dans le cadre d'une mesure vocale en champ libre.

Dans l'ensemble des mesures, l'augmentation de la distance entre la source et le récepteur permet d'accroître l'homogénéité du champ. Cela confirme la recommandation de l'ITU, qui préconise entre 2 et 3m. En effet, à partir de 1,2m, le champ est presque toujours homogène. Le fait de rapprocher les haut-parleurs entre eux, en distance et en orientation angulaire, tend à rendre le champ acoustique plus hétérogène dans toutes les configurations.

Les mesures avec 5 haut-parleurs montrent que quelle que soit la configuration spatiale employée, le champ acoustique reste relativement homogène tant que la distance entre la source et le récepteur est grande. Cela confirme les recommandations de Dodelé dans les configurations spatiales à 7 haut-parleurs (voir Première partie, II. B. 4. a) LLD Listes de Logatomes de Dodelé en champ libre). En effet, même lorsque la position des haut-parleurs mobiles est variable, les mesures restent assez proches (illustrations 67 et 68).

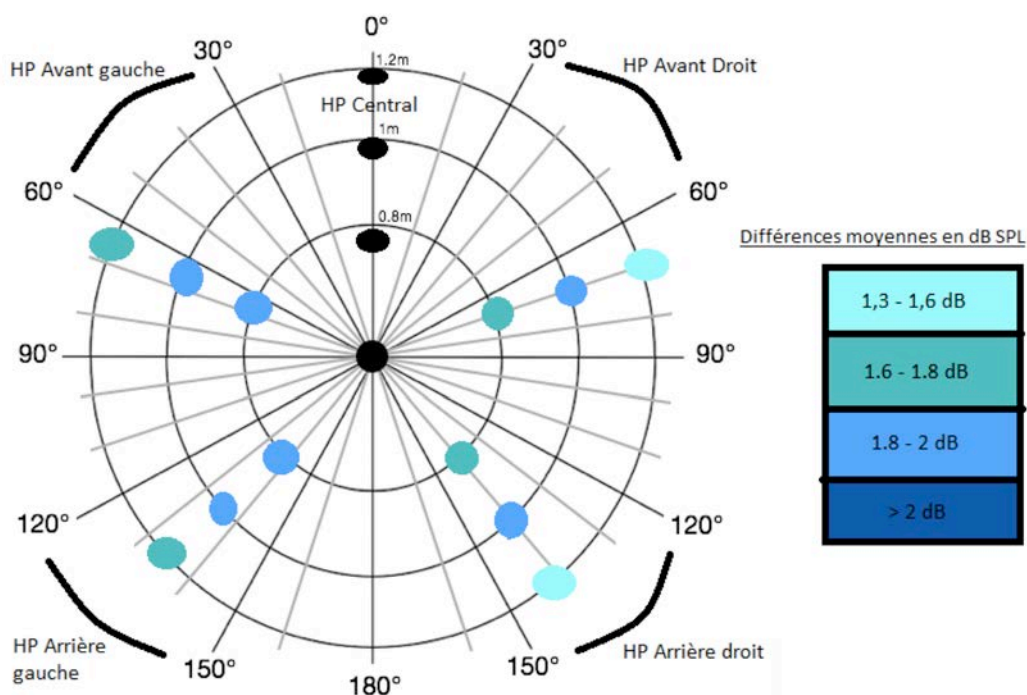


ILLUSTRATION 69: DIFFERENCES MOYENNES DE NIVEAUX SONORES DANS LES DEMI-ESPACES DROIT ET GAUCHE. 5 HP, CONFIGURATION "PENTAGONALE"

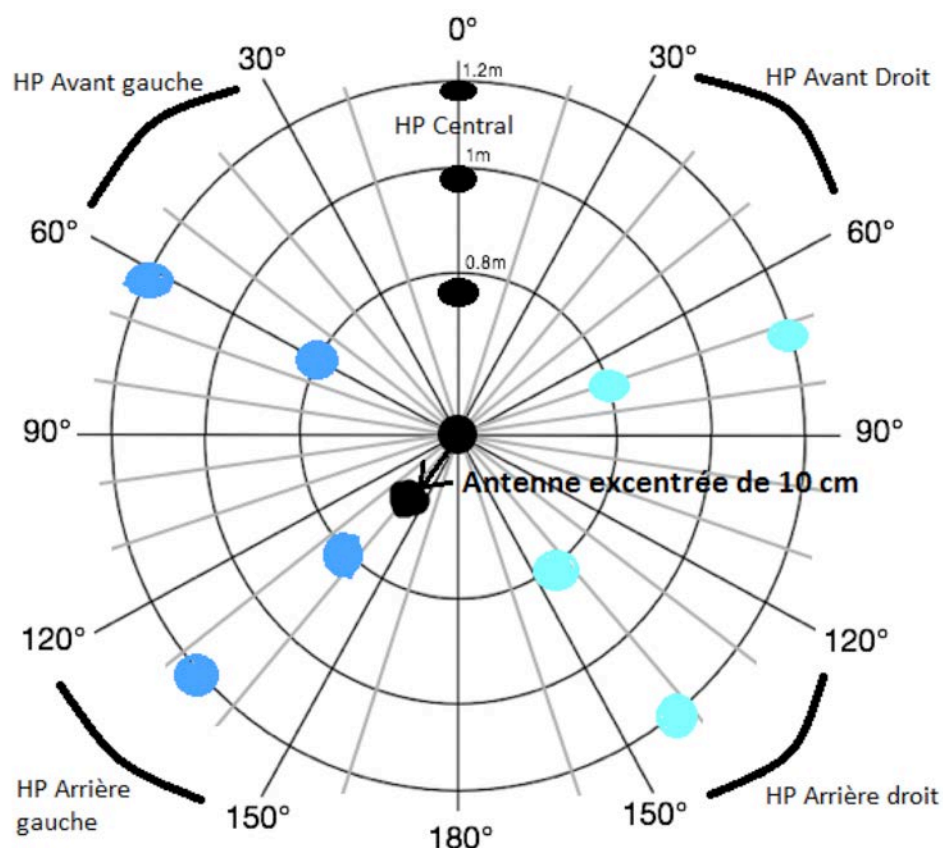


ILLUSTRATION 70: DIFFERENCES MOYENNES DES NIVEAUX SONORES DANS LES DEMI-ESPACES DROIT ET GAUCHE. CONFIGURATION "PENTAGONALE". ANTENNE DE MESURE DECALEE DE 10 CM PAR RAPPORT A SA POSITION INITIALE. (MEME LEGENDE QUE POUR ILLUSTRATION 69)

Dans la pratique quotidienne des tests audiométriques, il peut survenir que le patient ne soit pas figé dans sa position, que sa tête bouge, que son buste se décale de la position d'écoute normalement prévue pour les mesures. Cela a pour effet de déséquilibrer le champ acoustique entre les deux oreilles, comme le montre ces mesures avec 5 haut-parleurs (illustration 69 page précédente, et 70 ci-dessus).

En effet, la comparaison des illustrations montre que le fait d'excentrer la position de mesure avantage un côté plus qu'un autre. En l'occurrence, le fait de décaler l'antenne, dans cette mesure à 5 haut-parleurs, a pour conséquence d'accroître l'homogénéité du champ acoustique à droite au détriment de celui à gauche.

Il est important de garder à l'esprit que l'antenne microphonique couvre une zone autour de la tête pouvant dépasser celle entre laquelle les oreilles sont stimulées. L'antenne microphonique nous a donc permis d'estimer la répartition du champ acoustique de manière plus ou moins grossière. Cela confirme ainsi diverses recommandations : sur la séparation

spatiale des haut-parleurs diffusant le bruit du haut-parleur diffusant la parole ; sur l'éloignement du haut-parleur vis à vis du mur, et vis à vis de l'auditeur ; ainsi que sur le nombre de haut-parleurs employés quant à la fiabilité de la mesure.

Cependant les outils de métrologie utilisés pour le moment ne permettent pas de confirmer avec certitude que les différences observées ont un impact sur les résultats audiométriques vocaux, d'où l'importance d'approfondir l'investigation avec l'étude objective de l'intelligibilité, découlant des configurations critiques.

## C. Etude de l'intelligibilité objective des configurations critiques

Les résultats acquis précédemment nous ont permis de retenir, pour chaque configuration avec 2, 3 et 5 hauts parleurs : un agencement « optimiste », comprenant le moins de différences de pression possibles entre chaque demi-espace, et un agencement plus pessimiste, avec le plus de différences observables entre n'importe quel demi-espace.

### 1. Déroulement des mesures

L'objectif est d'estimer l'intelligibilité objective pour les configurations critiques avec le SII. La comparaison des SII déterminés permet de vérifier si la compréhension évolue dans chacune des configurations retenues. Pour se faire, nous avons reproduit ces configurations et remplacé l'antenne microphonique par le Kemar. Un algorithme écrit sous Matlab nous a permis d'appréhender le SII pour chaque configuration. Le SII a été simulé grâce à l'ISTS comme signal de parole, émis à 60 dB, et grâce au bruit « cocktail-party » comme bruit masquant, émis à 50 dB pour un ratio signal sur bruit de +10. La perte auditive simulée est légère.



### a) Mesures avec 2 haut-parleurs

Comme le montre l'illustration 71, une configuration est retenue dans la zone « optimiste » (en rouge), et une seconde dans la zone « pessimiste » (en noir). Nous avons donc choisi de retenir (en jaune) pour la configuration optimiste celle à 80°, et celle à 30° pour la plus pessimiste. La parole et le bruit sont émis dans les deux mêmes haut-parleurs. Sur ces deux configurations, la distance et la position du Kemar vis-à-vis des haut-parleurs ont également variés.

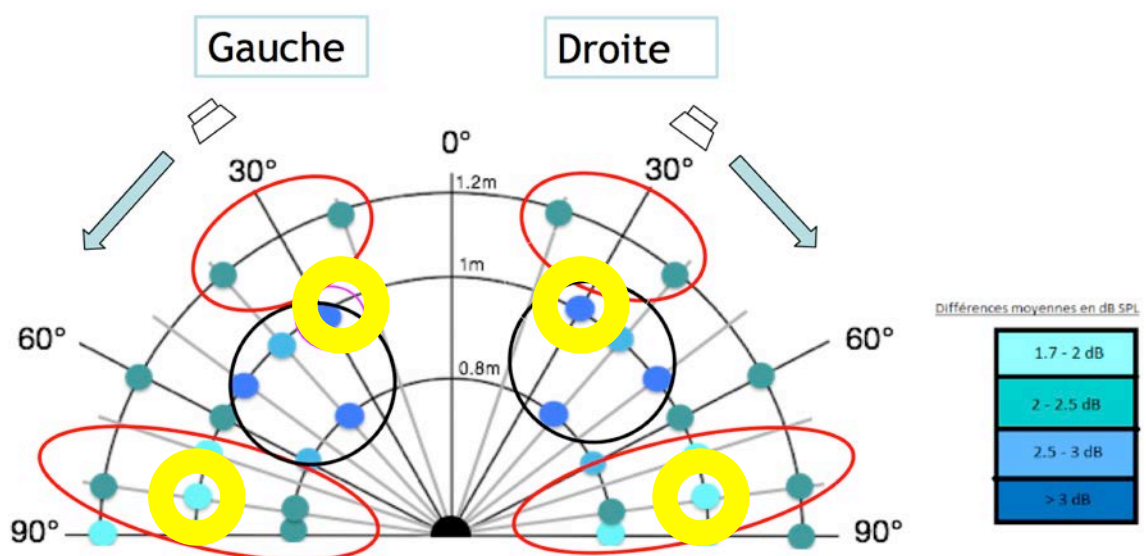


ILLUSTRATION 71: RAPPEL DES CONFIGURATIONS A 2 HP. EN ROUGE LES CONFIGURATIONS OPTIMALES, EN NOIR LES PLUS PESSIMISTES. LES CONFIGURATIONS RETENUES DANS CHAQUE SONT INDIQUEES EN JAUNE.

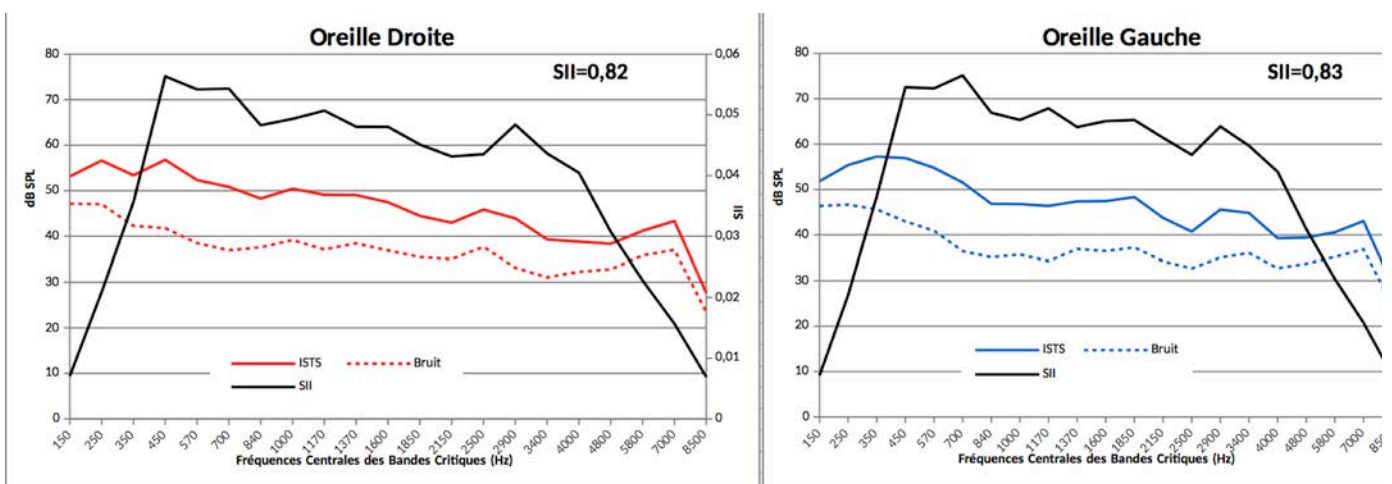


ILLUSTRATION 72: SII CALCULÉ A DROITE (0,82) ET A GAUCHE (0,83) / 2HP A 30° A 1 METRE

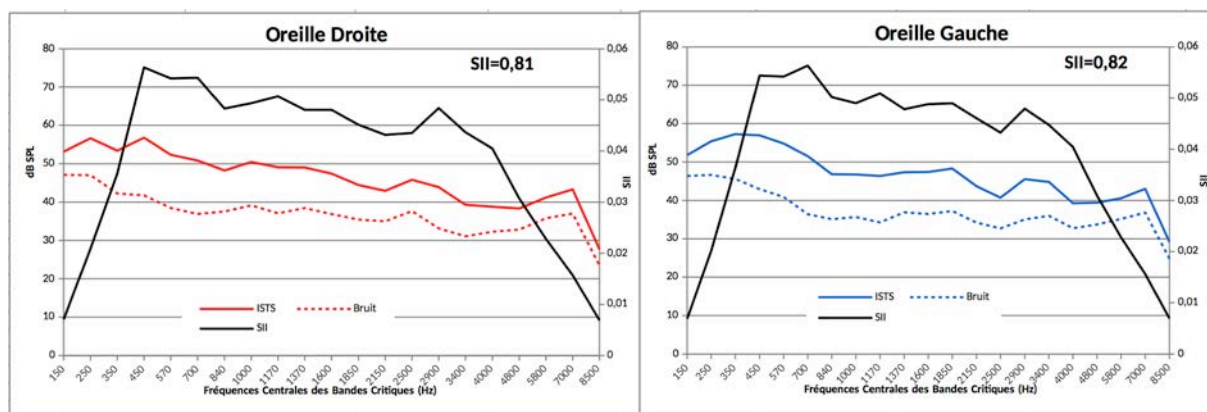


ILLUSTRATION 73: SII CALCULÉ À DROITE (0,81) ET À GAUCHE (0,82) / 2HP À 80° À 1 MÈTRE

Sur les illustrations 72 et 73, les courbes noirs, rouges continus, rouges en pointillés représentent respectivement le SII estimé, le niveau de l'ISTS (signal de parole) en dB SPL et le niveau du bruit de cocktail-party en dB SPL par bandes critiques. Plus le rapport signal sur bruit dans une bande de fréquence est grand, plus le SII prend une valeur élevée. Cette valeur est pondérée par l'importance de la bande fréquentielle considérée dans la compréhension de la parole (voir Première Partie, I. B. 4. a) L'indice d'articulation AI). On obtient :

- 2 HP / 30° / 1m : Oreille droite (OD), SII = 0,82 ; Oreille gauche (OG), SII = 0,83 ;
- 2 HP / 80° / 1m : OD, SII = 0,81 ; OG, SII = 0,82.

Au premier abord, les résultats obtenus avec le SII dans les configurations à 2 haut-parleurs laissent présager que le positionnement des haut-parleurs n'influe pas sur la compréhension objective. En effet, le SII n'évolue que de 0,1 point entre chaque oreille, ce qui est peu significatif (voir illustrations 72 et 73).

Sur ces deux configurations retenues, nous avons observé l'évolution du SII lorsque la distance entre le Kemar et les haut-parleurs varie, mais également lorsque le Kemar s'excentre de sa position initiale :

- 2HP / 30° / 1,2m : OD, SII = 0,81 ; OG, SII = 0,82 ;
- 2HP / 80° / 0,8m : OD, SII = 0,80 ; OG, SII = 0,81 ;
- 2HP / 80° / 1m / Kemar décalé de 10 cm sur la droite : OD, SII = 0,81 ; OG, SII = 0,82.



Encore une fois, les résultats obtenus avec le SII sont proches, entre 0,81 et 0,82, et analogues à ceux obtenus à la distance de 1 mètre. Cette première série de mesure ne semble pas confirmer un impact sur la compréhension liée à un mauvais positionnement des haut-parleurs. Cependant, ces mesures seront comparées avec les estimations du SII effectuées avec 3 haut-parleurs et avec 5 haut-parleurs.

#### b) Mesures avec 3 haut-parleurs

Même principe que précédemment, 2 configurations ont été retenues, suivant les résultats obtenus avec l'antenne microphonique. Le choix de ces configurations repose surtout sur une comparaison entre 2 haut-parleurs et 3 haut-parleurs.

Il a donc été retenu des agencements à 30° et 80° (en jaunes). L'étude de l'excentricité a également été effectuée pour la configuration à 80°. Les « meilleures » configurations n'ont pas été étudiées car les différences observées dans l'estimation du SII avec 2 haut-parleurs ne sont pas suffisamment importantes pour entraîner une variation significative du SII.

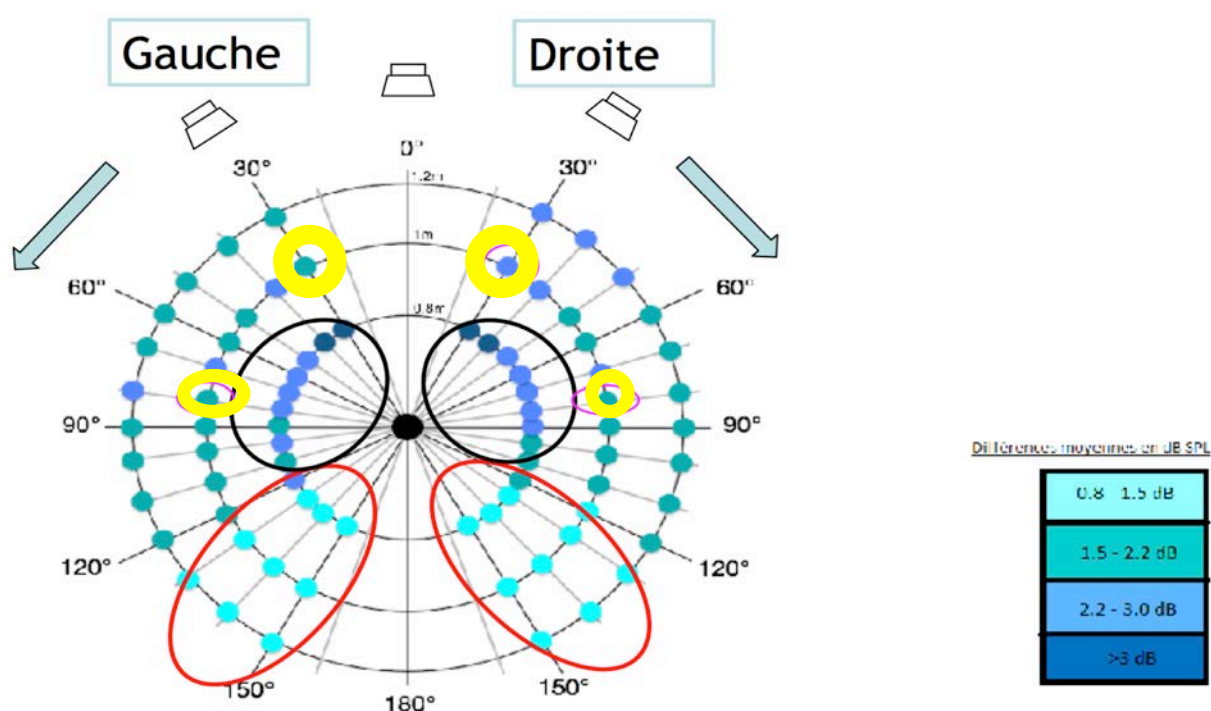


ILLUSTRATION 74: SYNTHÈSE DES MESURES RÉALISÉES AVEC LE KEMAR (EN JAUNE), SUR LES DIFFÉRENTES CONFIGURATIONS ÉTUDIÉES AVEC 3 HP

La mesure à 80° permettra une comparaison avec la mesure à 2 haut-parleurs. La parole est émise via le haut-parleur central et le bruit par le biais des haut-parleurs latéraux. Ainsi, voici une synthèse des mesures du SII effectuées via 3 haut-parleurs :

- 3 HP / 80° / 1m : OD, SII = 0,87 ; OG, SII = 0,86 ;
- 3 HP / 80° / 1m / Kemar excentré de 10cm à droite : OD, SII = 0,83 ; OG, SII = 0,71 ;
- 3 HP / 30° / 1,2m : OD, SII = 0,89 ; OG, SII = 0,88 ;
- 3 HP / 30° / 0,8m : OD, SII = 0,89 ; OG, SII = 0,89.

Dans l'étude avec l'antenne microphonique, le passage de 2 à 3 haut-parleurs résulte en une amélioration de l'homogénéité du champ acoustique. Cette série de mesure avec le Kemar semble conforter cette observation car le SII montre lui aussi une amélioration : il évolue d'en moyenne 0,81 à 2 haut-parleurs à en moyenne 0,85 à 3 haut-parleurs – jusqu'à un maximum de 0,89 de moyenne sans le cas particulier de l'excentricité.

Cette amélioration semblerait être due à la séparation spatiale de la parole et du bruit par l'ajout d'un troisième haut-parleur central. La conséquence d'une telle modification est également mise en évidence sur la configuration où le Kemar est excentré : briser l'équidistance dans la réception du signal de parole entraîne une asymétrie dans l'intelligibilité de 0,12 points entre les deux oreilles.

Cependant, tout comme les estimations du SII avec 2 haut-parleurs, l'orientation et la distance des haut-parleurs vis-à-vis du Kemar ne semblent pas impacter l'intelligibilité.

### c) Mesures avec 5 haut-parleurs

Concernant les séries de mesures avec 5 haut-parleurs, nous avons choisis 4 configurations balayant grossièrement l'ensemble des agencements possibles avec un tel dispositif. Le signal ISTS est émis par le haut-parleur central, et le bruit « cocktail-party » envoyé par les haut-parleurs latéraux.

Ces configurations sont les suivantes :

- 5 HP / 72° entre chaque HP / 0,8m (Illustration 69) : OD, SII = 0,71 ; OG, SII = 0,70 ;
- 5 HP / 90° (avant) ; 150° (arrière) / 0,8m (Illustration 75) : OD, SII = 0,73 ; OG, SII = 0,71 ;
- 5 HP / 40° (avant) ; 140° (arrière) / 1m (Illustration 76) : OD, SII = 0,84 ; OG, SII = 0,81 ;
- 5 HP / 40° (avant) ; 140° (arrière) / 1m / Kemar dévié de 10° par rapport à l'axe Kemar/haut-parleur central (Illustration 78) : OD, SII = 0,77 / OG, SII = 0,84.

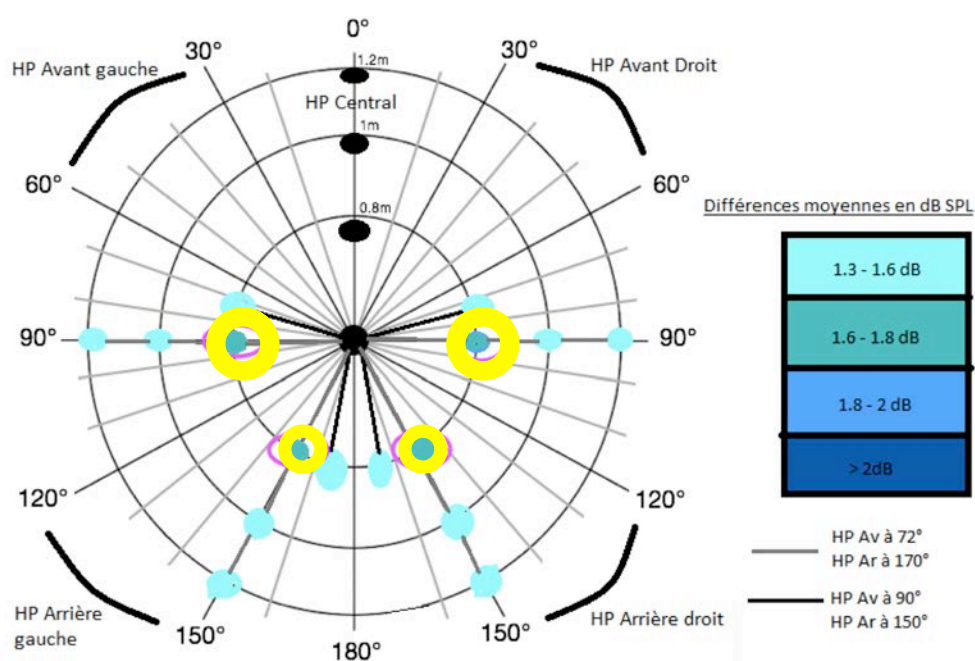


ILLUSTRATION 75: 2 AUTRES CONFIGURATIONS A 5 HP NON PRESENTES DANS LA PREMIERE PARTIE DE L'ETUDE. (VOIR ANNEXE5). CONFIGURATION CERCLEE DE JAUNE EST L'UNE DES TROIS RETENUES POUR L'ETUDE DU SII AVEC 5 HP

Comparativement aux approximations du SII avec 2 haut-parleurs et avec 3 haut-parleurs, les configurations avec 5 haut-parleurs présentent des estimations plus contrastées. Le champ acoustique avec l'antenne est globalement meilleur avec 5 haut-parleurs qu'avec un nombre de haut-parleurs plus réduit. Cependant, le SII est au mieux aussi bon qu'avec 2 haut-parleurs, avec au maximum 0,81 points en moyenne sur les deux configurations normales et excentrées (5 HP / 40° (avant) ; 140° (arrière) / 1 mètre). Le score du SII atteint au pire des cas 0,71 en moyenne sur les deux autres configurations. La

moyenne totale est de 0,76 points sur l'ensemble des configurations. Cela ne semble pas conforter les observations réalisées avec l'antenne microphonique, car l'intelligibilité décroît malgré un champ plus homogène.

La baisse de l'intelligibilité peut être expliquée par le masquage plus important par le bruit en raison du nombre plus important de moniteurs. Le bruit serait plus présent et plus homogène aux deux oreilles du Kemar, que le signal de parole frontal et donc plus directif.

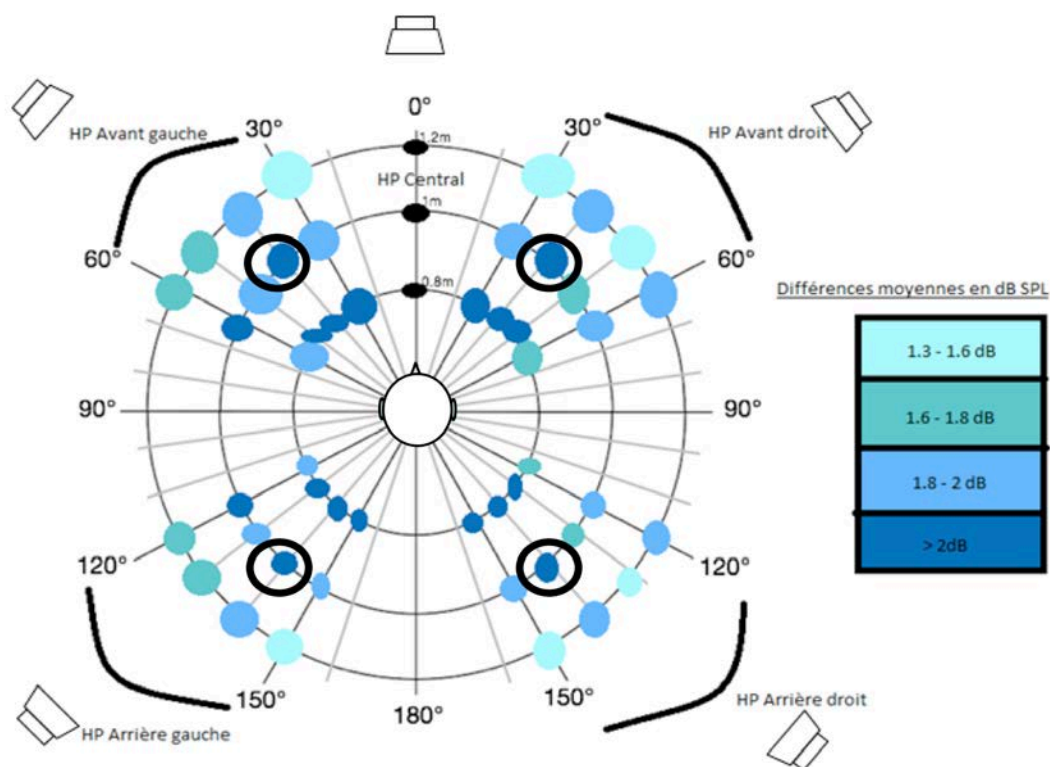


ILLUSTRATION 76 : CONFIGURATION A 5 HP. HP LATÉRAUX AVANTS A 30°. HP LATÉRAUX ARRIÈRES A 150°. LE KEMAR EST FACE AU HP CENTRAL.

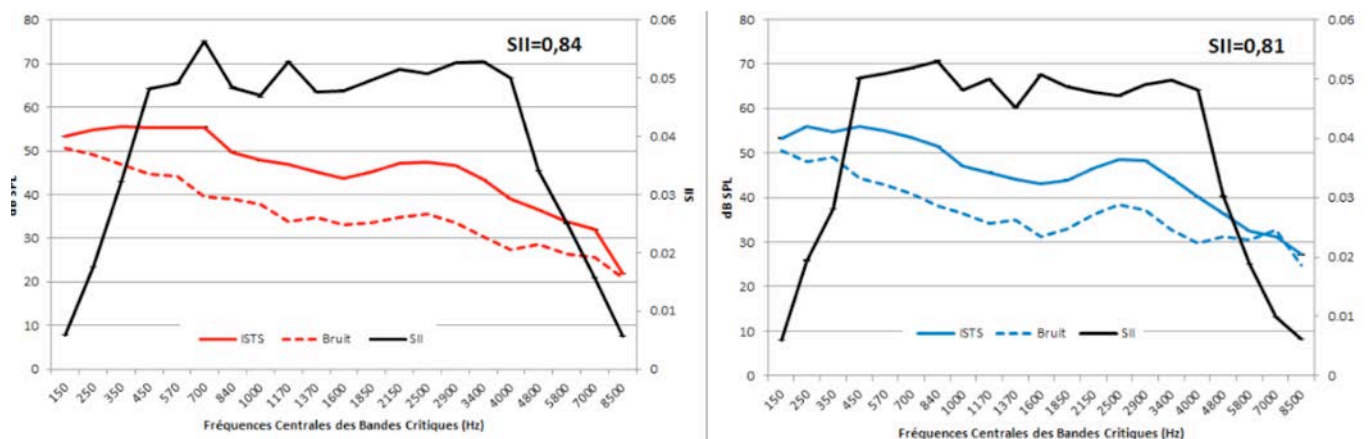


ILLUSTRATION 77 : MESURE DU SII DANS LA CONFIGURATION A 5 HAUT-PARLEURS. LE SII EST DONNÉ POUR L'OREILLE DROITE EN ROUGE ET POUR L'OREILLE GAUCHE EN BLEU. LE KEMAR EST FACE AU HAUT-PARLEUR CENTRAL.

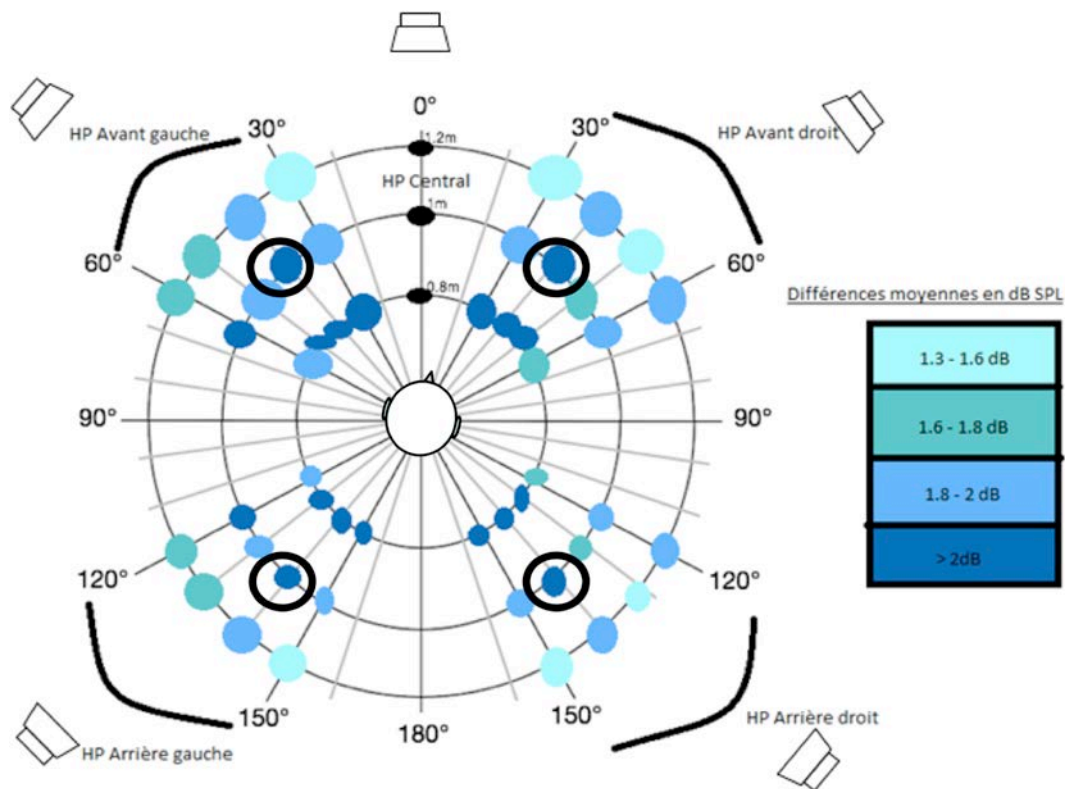


ILLUSTRATION 78 : MESURE DU SII, 5 HAUT-PARLEUR. MEME CONFIGURATION QUE L'ILLUSTRATION 75. LA DIFFERENCE RESIDE DANS LA POSITION DU KEMAR: TOURNE 10° VERS LE COTE

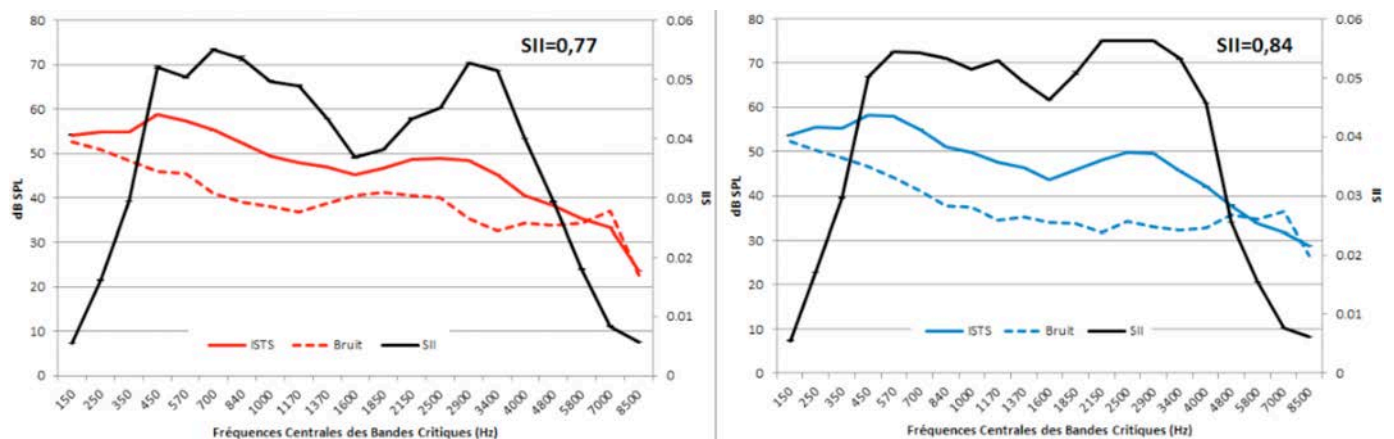


ILLUSTRATION 79 MESURE DU SII DANS LA CONFIGURATION PRESENTEE ILLUSTRATION 77. LE KEMAR EST TOURNE DE 10° SUR LE COTE.

Les résultats liés à l'étude de l'excentricité avec 5 haut-parleurs sont explicités sur les illustrations 76 à 79. Le fait de briser l'équidistance face au signal de parole, comme dans la mesure avec 3 haut-parleurs, crée une asymétrie importante dans le SII : la différence évolue de 0,3 à 0,7 points. Cette asymétrie est moindre – 0,7 contre 0,12 avec 3 HP ; mais suffisante pour entrainer une détérioration de l'intelligibilité.

Tourner le Kemar sur lui-même induit le même effet que décaler l'antenne microphonique. Dans le cas du mannequin, cela modifie les ILD du signal de parole et du signal de bruit. Les courbes traduisant les valeurs du SII en fonction des fréquences montrent

par ailleurs une importante encoche dans les fréquences médiums entre 1000 Hz et 2000 Hz dans la configuration excentrée. Le SII décroît brutalement de 0,01 points sur l'intervalle considéré. Cela est dû à l'augmentation de l'intensité du signal de bruit sur ces fréquences, diminuant ainsi le rapport signal sur bruit. En raison du décalage, le Kemar voit son oreille droite plus exposée au moniteur latéral avant diffusant le bruit, mais moins stimulée par le moniteur central diffusant la parole. L'effet d'ombre de la tête réduit l'intensité du signal de parole à l'oreille droite.

## 2. Résultats

En observant une à une les configurations à 2 HP, à 3 HP et à 5 HP, les SII calculés confortent les conjectures de la première partie de l'étude sur l'amélioration de l'intelligibilité grâce à un champ acoustique plus homogène. En effet, une augmentation du nombre de haut-parleur, et une augmentation de la distance permettent des meilleurs résultats en terme de compréhension objective.

Ces augmentations sont cependant subtiles : on observe une augmentation générale du SII de 0,1 point lorsqu'on passe de 2 haut-parleurs à 3 haut-parleurs. Le SII évolue environ de 0,81 jusqu'à un maximum de 0,89. La séparation spatiale de la parole et du bruit peut expliquer cette augmentation, en raison des limites mécaniques des systèmes de diffusion.

Le SII n'évolue cependant pas de manière positive lorsqu'on emploie 5 haut-parleurs. A conditions égales, les indices calculés pour cette configuration à 1m valent environ ceux obtenus avec 2 haut-parleurs. Le SII décroît même fortement lorsque les haut-parleurs se rapprochent : à distance plus courte, le bruit diffusé sur les 4 haut-parleurs simultanément doit couvrir de manière plus aisée le signal de parole envoyé par le moniteur central. C'est une observation surprenante car les mesures avec l'antenne laissaient présager un champ acoustique plus homogène avec 5 haut-parleurs. Le « recouvrement » du signal de parole par le signal de bruit explique la baisse du SII dans cette configuration.

En dehors des écarts importants constatés avec 5 haut-parleurs et les cas particuliers d'excentricité décrits en aval, les valeurs des SII, au sein des mesures regroupant le même

nombre de moniteurs, sont à peu près identiques. Cela montre qu'objectivement, les faibles différences de pression observées dans chaque demi-espace ne sont pas suffisantes pour impacter l'intelligibilité dans le cas d'une audiométrie vocale s'effectuant à des niveaux supra-liminaires.

Le cas particulier où la compréhension et les capacités d'écoute peuvent se retrouver affectées est en effet celui de l'excentricité.

Avec 2 haut-parleurs, cet écart n'a pas eu lieu car le décalage a changé de manière égale les différents indices acoustiques intervenants dans la localisation d'une source sonore (Voir Première Partie, I. B. 1. b) La localisation sonore) : la parole et le bruit n'étant pas séparés dans l'espace car émis par le biais d'un même haut-parleur, les décalages induits sont similaires et n'ont pas eu d'effet sur compréhension. De plus, si des variations ont eu lieu en raison du décalage, elles auraient été trop fines pour pouvoir entraîner une véritable modification du SII.

En revanche, lorsque la parole est séparée du bruit dans l'espace, se décaler (mesure avec 3 haut-parleurs) ou se tourner (mesure avec 5 haut-parleurs) affecte les valeurs obtenues avec le SII. Celui-ci diminue d'environ 0,1 point sur une oreille, traduisant une asymétrie dans la réception du signal. Cette modification peut, dans le cas du Kemar, être dû à l'effet d'ombre de la tête : le signal de parole étant équidistant aux deux oreilles lorsque le patient est de face, le moindre décalage entraîne une modification de l'azimut. Cela induit un impact sur les ILD en raison de l'effet d'ombre de la tête. Cela peut être confirmé par l'encoche spectrale autour de 1300 Hz sur les valeurs de l'AI (illustration 76), fréquence à laquelle ce phénomène prend effet (voir Première Partie, I. B. 1. b) (3) Les différences interaurales de niveau ILD). Il est bon de rappeler que l'importance de chaque bande fréquentielle dans la compréhension de la parole est prise en compte dans le calcul du SII (voir illustration 29 page 38). L'encoche étant majeure dans les médiums (1300 à 2000 Hz), cela renforce la participation de l'effet d'ombre de la tête car ces bandes de fréquence sont majoritairement importantes dans l'intelligibilité.



### 3. Conclusions

Les deux campagnes de mesures réalisées dans le local de stéréo-audiométrie vocal ont permis de lever certaines obscurités quant aux placements des haut-parleurs. En effet, si la salle est bien traitée acoustiquement, et respecte au moins les recommandations conseillées par le précis, le nombre de haut-parleur ou leur disposition n'ont pas un grand impact sur les résultats d'intelligibilité, comme l'a montré l'étude objective. Il faut cependant veiller à ne pas trop approcher les haut-parleurs des parois, et s'assurer qu'ils ne soient pas trop proches du patient.

La proximité n'est pas obligatoirement un problème lors de la réalisation d'un test dans le calme, car malgré l'augmentation des différences de niveau de pression acoustique de chaque côté de la tête avec le rapprochement des haut-parleurs, la compréhension objective estimée dans ces conditions ne varie pas de manière extrêmement significative. En revanche, le champ diffus, ainsi généré par une trop grande proximité, peut venir masquer le signal de parole lors d'un test dans le bruit (SII de la configuration illustration 68).

En plus de la proximité, il faut veiller à la posture du patient durant la passation d'un test dans le bruit : si le patient vient à s'excentrer de la position prévue, la modification des indices acoustiques de localisation peuvent venir corrompre les résultats de la mesure. Cela s'est traduit par une baisse et une asymétrie de 0,1 point dans le SII durant les mesures avec 3 haut-parleurs et 5 haut-parleurs.

Le SII est cependant un modèle ayant ses limites : il ne peut reproduire à la perfection le traitement binaural de l'information effectué par le système auditif (voir Première Partie, I. B. 1. c) Remarques liées à l'écoute dans le bruit). Les modifications observées ont donc été dues à des événements périphériques : effet d'ombre de la tête et modification des ILD. Ce modèle n'a pas pu parfaitement prendre en compte les phénomènes de démasquage spatiale liés aux ITD et aux IPD, qui pourraient dans ce cas précis faciliter la compréhension au lieu de la dégrader comme il l'a été mesuré. Cette limite sera franchie dans la troisième partie, lors de la vérification clinique de cette étude avec des patients normoentendants.



# Troisième partie: Vérification clinique de l'étude objective

## I) Introduction

Concernant l'étude clinique, plusieurs audiométries tonales, en cabine insonorisée, ainsi que des audiométries vocales, dans une salle dédiée aux mesures audiométriques, ont été réalisées en champ libre avec un panel de sujets normo-entendants.

Dans un premier temps, nous présenterons le type de personnes volontaires utilisées pour cette étude, puis nous expliquerons le déroulement des mesures pour l'audiométrie tonale et vocale.

### A. Echantillon des sujets

Nous avons utilisé, pour l'étude clinique, cinq étudiants de la faculté d'audioprothèse de Nancy âgés de 21 ans à 25 ans. Nous avons pris le soin, au préalable, de vérifier leur audition, en champ libre, afin de confirmer leur caractère normo-entendant. En effet tous les étudiants ont une audition comprise entre -5 dB HL et 5 dB HL sur les fréquences allant du 125 Hz à 8000 Hz.

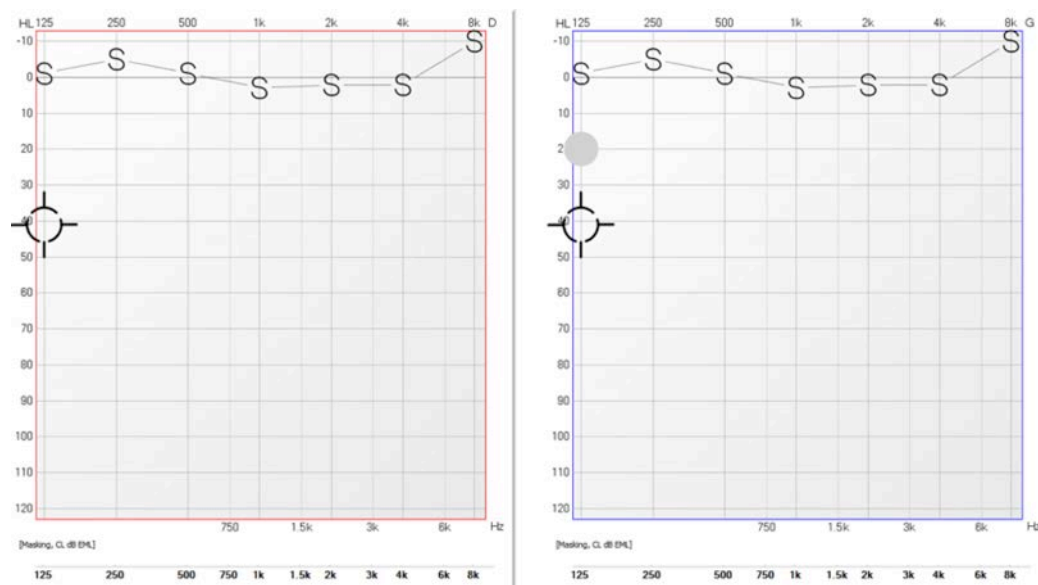


ILLUSTRATION 80 : EXEMPLE D'AUDIOMETRIE TONALE D'UN ETUDIANT

## B. Déroulement des mesures

Cette partie est dédiée à l'explication de la prise de mesures pour l'audiométrie tonale et vocale. Après un bref rappel des salles utilisées pour les mesures, nous verrons les tests réalisés et enfin le protocole qui nous amènera aux résultats que nous présenterons.

### 1. Salles audiométriques utilisées

L'audiométrie tonale en champ libre a été réalisée au sein de la cabine audiométrique de la faculté de pharmacie de Nancy (cf. deuxième partie I. A. 1).).

L'audiométrie vocale en champ libre, a été réalisée dans une salle de mesures audiométriques située également dans l'enceinte de la Faculté de Pharmacie de Nancy (cf. deuxième partie II. A. 1).), celle où les mesures de l'hétérogénéité du champ et du SII ont été réalisées.

### 2. Épreuves audiométriques

#### a) Audiométrie tonale

L'audiométrie tonale en champ libre a été réalisée de manière usuelle. Nous avons utilisé des sons wobulés permettant de limiter les modes acoustiques susceptibles d'émerger dans la cabine audiométrique (cf première partie I. B. 3).). Nous avons ensuite relevé les seuils auditifs sur les fréquences 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz (cf deuxième partie I.A.2).a).

#### b) Audiométrie vocale

Les listes de netteté de Dupret ont donc été utilisées pour l'audiométrie vocale (voir Première Partie II. B. 2. Le test de netteté de Dupret). L'utilisation des logatomes permet de mettre les étudiants en difficulté. Les listes sont émises à partir de pistes pré-enregistrées. Le bruit masquant employé est celui de « cocktail-party » (voir Première partie, I. B. 3. b) (2) Le bruit de « cocktail-party »). Contrairement au test initial, la notation précise des confusions phonétiques n'a pas été relevée, seul le nombre d'erreur sur chaque phonème a été comptabilisé. En effet, l'objectif est de s'intéresser directement à un pourcentage d'intelligibilité afin de le comparer au SII.

### 3. Protocole de mesures

#### a) Épreuve tonale en champ libre

Avant de commencer la prise de mesure, nous avons pris le temps d'expliquer le déroulement des tests aux étudiants.

##### (1) OTOSCOPIE

Nous avons réalisé une otoscopie sur chacun d'entre eux afin de s'assurer qu'il n'y ait pas d'obstruction par le cérumen dans le conduit auditif externe.

Un bouchon de cérumen entraînerait des erreurs dans la mesure des seuils auditifs.

##### (2) INSTALLATION DE L'ÉTUDIANT DANS LA CABINE AUDIOMETRIQUE

Avant de débiter les mesures, nous avons pris soin de placer un tabouret dans la cabine audiométrique. Nous avons réalisé trois marquages au sol afin que le positionnement du tabouret reste le même pour tous les étudiants. Ensuite nous avons placé devant le tabouret un repose menton, monté sur un trépied et ajustable en hauteur.

Ce dispositif permet à l'étudiant, placé dans la cabine, de rester le plus stable possible pour que les résultats soient les plus précis.



ILLUSTRATION 81 : DISPOSITIF DE MESURE TONAL

### (3) L'AUDIOMETRIE

Pour réaliser les mesures, nous avons toujours procédé de la même manière selon le protocole établi.

Ce protocole consiste à réaliser, sur les cinq étudiants, un relevé de seuils auditifs dans chaque position. Nous avons décidé d'une position centrale, d'une position excentrée vers le mur et d'une position excentrée vers la porte de la cabine.

Ces mesures seront réalisées trois fois pour s'assurer de la reproductibilité des résultats. Les trois séries de mesures sont séparées par un temps de repos de 10 minutes, dans un endroit calme, afin que les étudiants aient une concentration optimale pendant les mesures.

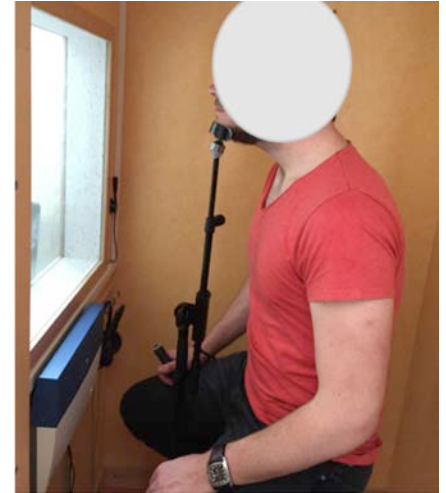


ILLUSTRATION 82 : POSITION CENTRALE DE L'ETUDIANT DANS LA CABINE

AUDIOMETRIQUE

L'audiométrie commence par la mise en place de l'étudiant dans la cabine. On vérifie son positionnement entre chaque mesure. Une fois en place nous lui demandons d'une part d'éviter le moindre mouvement de tête et d'autre part d'appuyer sur la poire de réponse chaque fois qu'il entend le son même si celui-ci est entendu de manière faible et lointaine. Ensuite nous fermons correctement la porte isophonique.

Une fois les consignes expliquées, nous pouvons débiter l'audiométrie tonale en champ libre.

L'opérateur de l'audiométrie est placé en dehors de la cabine devant l'audiomètre (voir illustration 40 page 54). On commencera toujours par la position centrale puis la position excentrée vers le mur et enfin celle proche de la porte. L'audiométrie est réalisée de manière classique, c'est à dire en technique descendante au décibel près (Intensité sonore du plus fort au moins fort). Au niveau des fréquences testées nous débutons

systématiquement par la fréquence du 1000 Hz. Ensuite on teste les fréquences aigües jusqu'au 8000 Hz pour finir par les fréquences grave allant 500 Hz au 125 Hz.

Pendant l'audiométrie l'opérateur se charge de relever les seuils auditifs en les insérant dans un tableau Excel préparé au préalable. La page Excel nous permettra par la suite de synthétiser les résultats sur des graphiques que l'on présentera plus loin.

## b) Épreuve vocale en champ libre

### (1) OTOSCOPIE

Comme précédemment, nous avons réalisé une otoscopie dans le même dessein que pour l'audiométrie tonale en champ libre.

### (2) INSTALLATION DE L'ETUDIANT

Les mesures expérimentales ayant été effectuées à un emplacement précis : celui du patient, nous devons donc nous assurer que les différents étudiants aient une position des plus reproductibles pour rendre les mesures plus fiables.



ILLUSTRATION 83 : POSITION DE L'ETUDIANT DANS LA SALLE DE MESURE STEREO-AUDIOMETRIQUE, STRICTEMENT FACE AU HAUT-

4 configurations différentes ont été étudiées respectivement pour 2 haut-parleurs, 3 HP, 5 HP et 5 HP dans une position excentrée. Cela nous a permis de pré-positionner chaque haut-parleur afin d'économiser du temps sur les mesures, et afin de réduire les risques d'erreurs liés à la manipulation du matériel.

L'étudiant est donc installé sur un tabouret à 1m du haut-parleur central et des moniteurs latéraux. Seule la hauteur des haut-parleurs est ajustée afin de correspondre avec la face du sujet testé. Il est demandé à ce dernier de garder la posture la plus droite possible durant la durée de l'épreuve. L'emplacement du tabouret est marqué, et un second marquage est prévu de sorte à ce que le tabouret soit simplement décalé de 15cm de

manière repérable. Encore une fois, dans la seconde position, il est demandé de rester le plus droit possible sur le tabouret en restant droit et en regardant droit devant soi. Le testeur contrôle la bonne posture du sujet pendant le test, recommençant cette dernière si l'étudiant s'éloigne trop de la position recommandée.

### (3) L'audiométrie

L'audiométrie vocale consiste en séries 3 mesures dans 4 configurations différentes. Les mesures se succèdent avec des intervalles de pause de 10 minutes afin de ne pas fatiguer le sujet testé. Le nombre de 3 mesures par série est choisi afin d'assurer un caractère reproductible. 5 étudiants normoentendants sont testés.

Voici les configurations spatiales employées (illustration 84) :

- 2 haut-parleurs latéraux à 40° à 1m , signal et bruit diffusés dans chaque moniteur.
- 3 haut-parleurs à 1m, 1 central diffusant le signal, 2 latéraux à 40° émettant le bruit.
- 5 haut-parleurs à 1m ; 1 central diffusant le signal, 4 latéraux émettant le bruit avec 2 en avant à 40° et 2 à l'arrière à 140°.

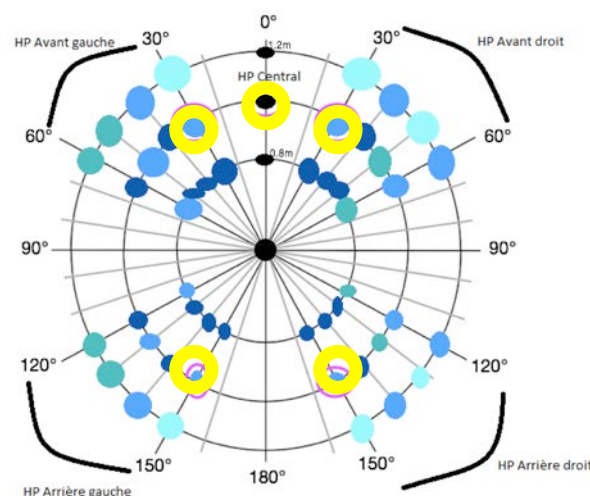


ILLUSTRATION 84 : REPRESENTATION DE LA CONFIGURATION EMPLOYEE AVEC LES HAUT-PARLEURS EN CERCLE ROSE

La quatrième et dernière configuration emploie les mêmes caractéristiques que la configuration avec 5 haut-parleurs. La différence réside dans la position du patient : excentré de 15 cm par rapport à la position initiale face au haut-parleur central.

Lors des mesures avec 2 haut-parleurs et 3 haut-parleurs, deux rapports signal sur bruit différents ont été employés à 0 et à +3 dB. Lors des mesures avec 5 haut-parleurs, un rapport signal sur bruit de 0 dB a été employé. Nous avons donc 6 séries de mesure différentes.

Les listes vocales sont diffusées par l'intermédiaire du logiciel Biosound grâce à des pré-enregistrements sur une voix masculine.

## II) Résultats

### A. Audiométrie tonale

Après avoir réalisé les audiométries dans les différentes positions, nous avons relevés les seuils auditifs de chaque étudiant. Les différents seuils auditifs sont regroupés, comme expliqué précédemment, sur une feuille Excel. Celle-ci nous a permis de réaliser des graphiques résumant chaque situation.

Pour que les résultats soient exprimés de manière claire et concise, nous avons décidé de retenir les écart-types, calculer pour chaque fréquence et entre les différentes positions étudiées. De cela, nous avons tracé les graphiques de ces écart-types pour chaque série de mesures.

Enfin un graphique général a été réalisé afin d'y résumer la moyenne des écart-types des trois séries de mesures, tout en y faisant apparaître la reproductibilité des résultats.

Nous allons donc exposer puis expliquer les différents résultats obtenus pour chaque étudiant.



Nous rappelons que chaque série se compose de trois audiométries dans trois positions différentes.

## 1. Etudiant G

Chaque série débute par une audiométrie tonale en champ libre (au décibel près) en position centrale, puis en position excentrée vers le mur et enfin dans la position excentrée vers la porte de la cabine.

### a) Première série

Sur la première audiométrie réalisée sur cet étudiant, on remarque qu'entre les différentes positions l'écart-type peut s'étendre jusqu'à 3 décibels (illustration 85) :

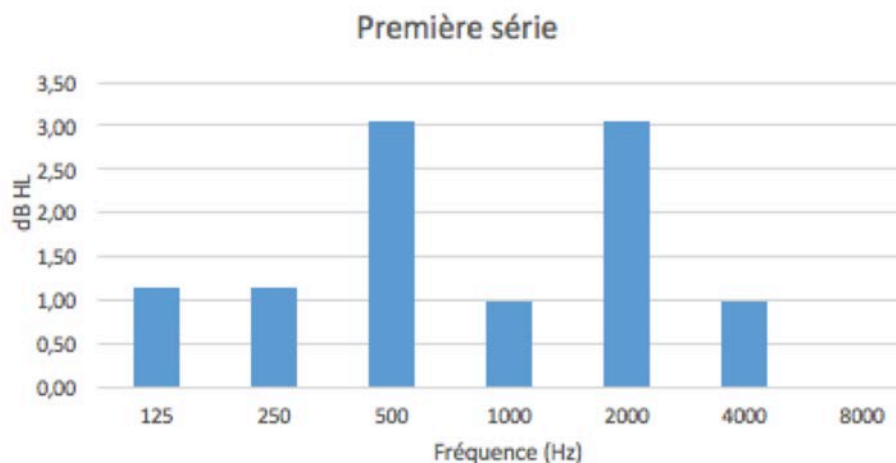


ILLUSTRATION 85 : ÉCART TYPE DES DIFFÉRENTES POSITIONS (MUR, PORTE, AU MILIEU) EN FONCTION DES FRÉQUENCES

Tout d'abord on remarque que sur les fréquences 125 Hz, 250 Hz, 1000 Hz et 4000 Hz, la disparité avoisine un décibel. Le champ acoustique est donc relativement homogène sur ces bandes d'octaves.

Ensuite, sur la fréquence du 8000 Hz, on remarque que l'écart type est nul. Le champ acoustique est donc homogène. Aucune erreur sur les seuils auditifs ne sera à prévoir sur les extrêmes aigus testés en audiométrie tonale.

Enfin sur les fréquences 500 Hz et 2000 Hz, nous pouvons voir que l'écart-type peut s'élever jusqu'à trois décibels. Ici le champ acoustique est hétérogène. En effet on peut donc dire que l'on est en présence d'ondes stationnaires sur ces deux octaves.

#### b) Deuxième série

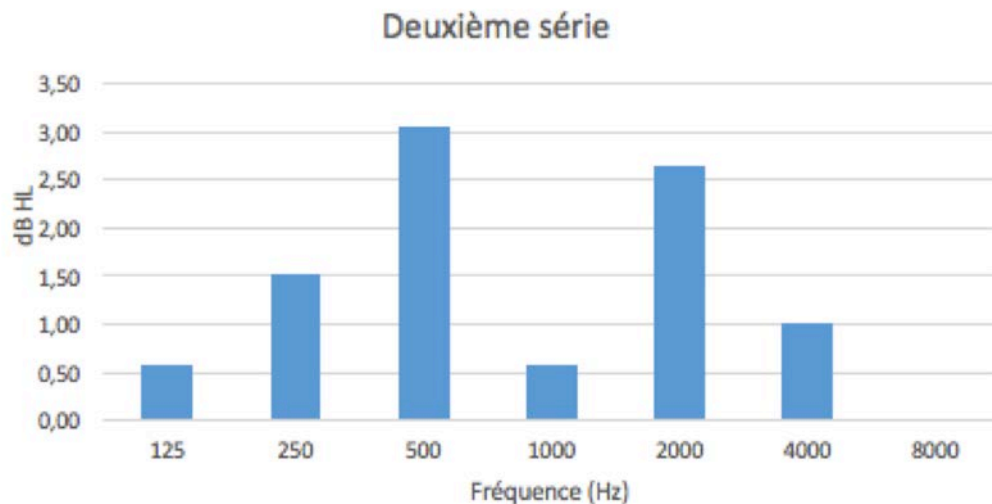
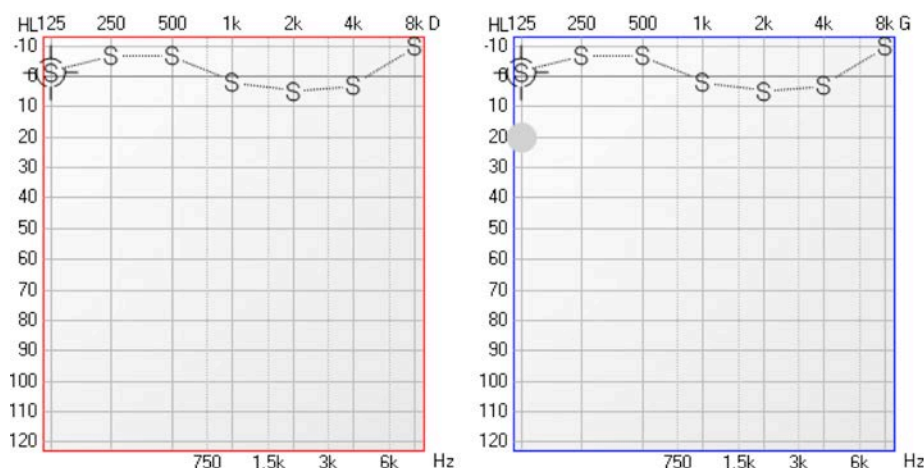


ILLUSTRATION 86 : ECART-TYPE DES DIFFERENCES DE NIVEAU SUR CHAQUE POSITIONS EN FONCTION DES FREQUENCES

Pour la deuxième série de l'audiométrie tonale de l'étudiant G, on retrouve à nouveau une faible disparité sur les fréquences 125 Hz, 250 Hz, 1000 Hz et 4000 Hz, comprise entre 0,6 décibel et 1,5 décibels. Le champ acoustique est relativement homogène. Sur la fréquence du 8000 Hz, l'écart-type reste nul. Enfin sur les fréquences 500 Hz et 2000 Hz le champ acoustique reste hétérogène avec un écart-type atteignant les trois décibels.



Oreille droite : rouge

Oreille gauche : Bleu

ILLUSTRATION 87 : AUDIOGRAMME DE L'ETUDIANT G COTE MUR

c) Troisième série

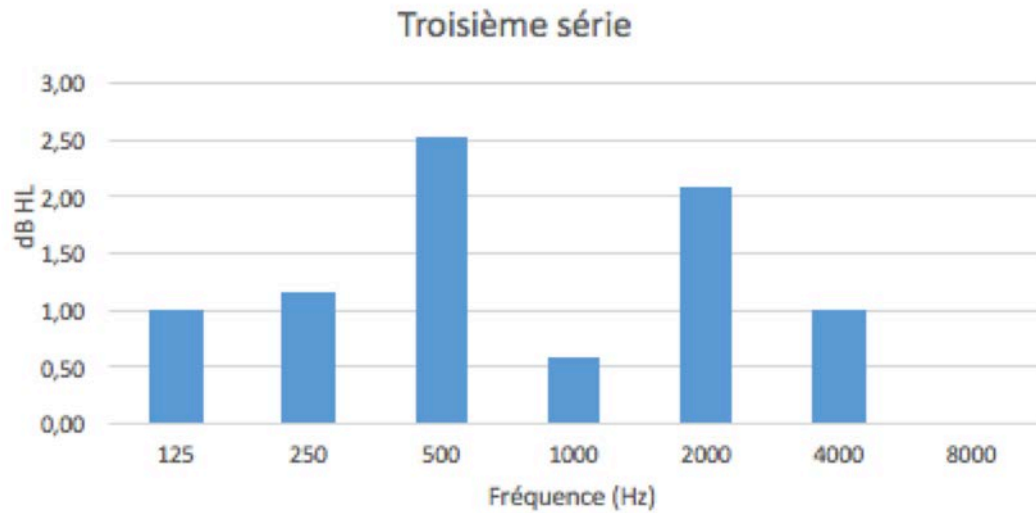
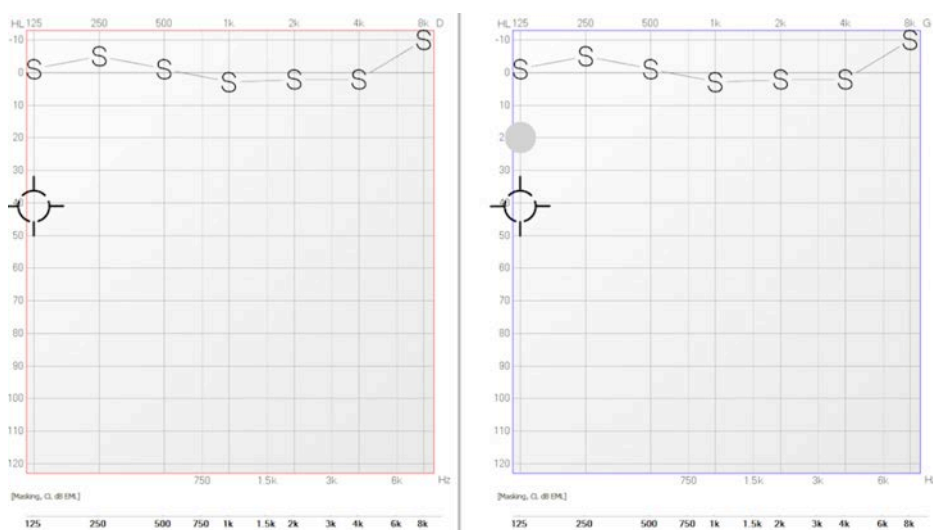


ILLUSTRATION 88 : ECART-TYPE DES DIFFERENTES POSITIONS EN FONCTION DES FREQUENCES POUR LA TROISIEME SERIE DE MESURE DE L'ETUDIANT G

Au niveau de la troisième série, les résultats se rapprochent encore une fois des résultats précédents. Les écarts-types observées sur l'ensemble du spectre sont en effet égaux aux deux autres séries. En particulier sur la fréquence 8000 Hz où il demeure nul, et surtout sur les fréquences 500 Hz et 2000 Hz où le champ reste hétérogène.



Oreille droite : rouge

Oreille gauche : Bleu

ILLUSTRATION 89 : AUDIOGRAMME DE L'ETUDIANT G COTE PORTE

#### d) Synthèse

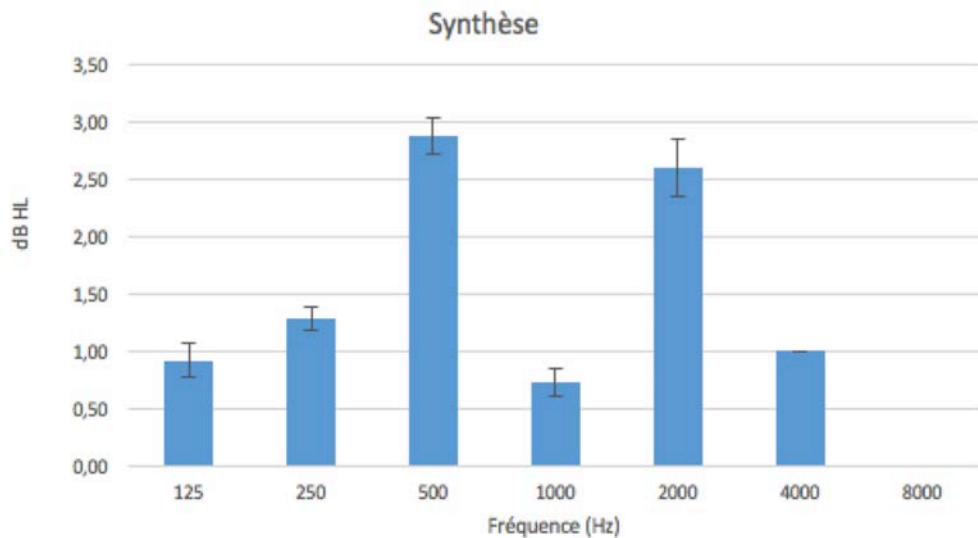


ILLUSTRATION 90 : MOYENNE DES ECARTS-TYPE DES 3 SERIES AVEC REPRODUCTIBILITE DES RESULTATS DE L'ETUDIANT G.

De ces trois séries, on peut conclure grâce au graphique montrant la moyenne des écarts types et la reproductibilité des seuils auditifs, que le champ acoustique est relativement homogène sur les fréquences du 125 Hz, 250 Hz, 1000 Hz et 4000 Hz. Sur les octaves 500 Hz et 2000 Hz, il reste hétérogène. Enfin sur le 8000 Hz le champ acoustique est parfaitement homogène.

Les résultats entre les séries sont relativement constants, on peut donc dire que la reproductibilité des tests est bonne.

Pour les étudiants suivants nous avons procédé de la même manière. Nous avons réalisé le même nombre de série d'audiométrie en respectant les mêmes temps de repos (10 minutes).

Nous nous limiterons à l'étude du graphique résumant les trois séries d'audiométries réalisées sur les étudiants.

## 2. Étudiante M

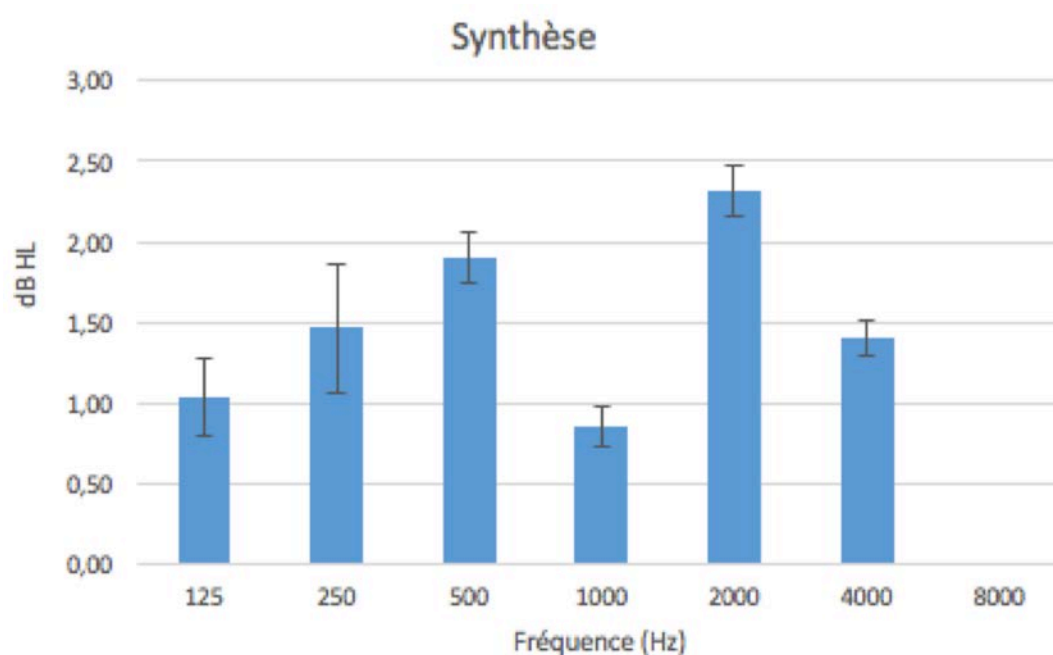


ILLUSTRATION 91 : MOYENNE DES ECARTS-TYPE DE L'ÉTUDIANTE M

Pour l'étudiante M, le graphique synthétisant les résultats montre que sur les fréquences 125 Hz, 250 Hz, 1000 Hz et 4000 Hz, la disparité du champ acoustique peut atteindre les 1,5 décibels. Dans ce cas on peut dire que le champ acoustique est relativement hétérogène. Ensuite sur les fréquences 500 Hz et 2000 Hz l'écart-type peut atteindre la valeur de 2,5 décibels. Enfin, il en est de même que pour l'étudiant précédent pour la fréquence du 8000 Hz où l'on retrouve un champ acoustique homogène.

Au vu des résultats, nous pouvons dire que le champ acoustique est relativement hétérogène dans sa globalité sauf sur les extrêmes aigus.

Les résultats sont reproductibles, à l'exception de la fréquence du 250 Hz où les résultats diffèrent légèrement entre les séries.

### 3. Étudiant V

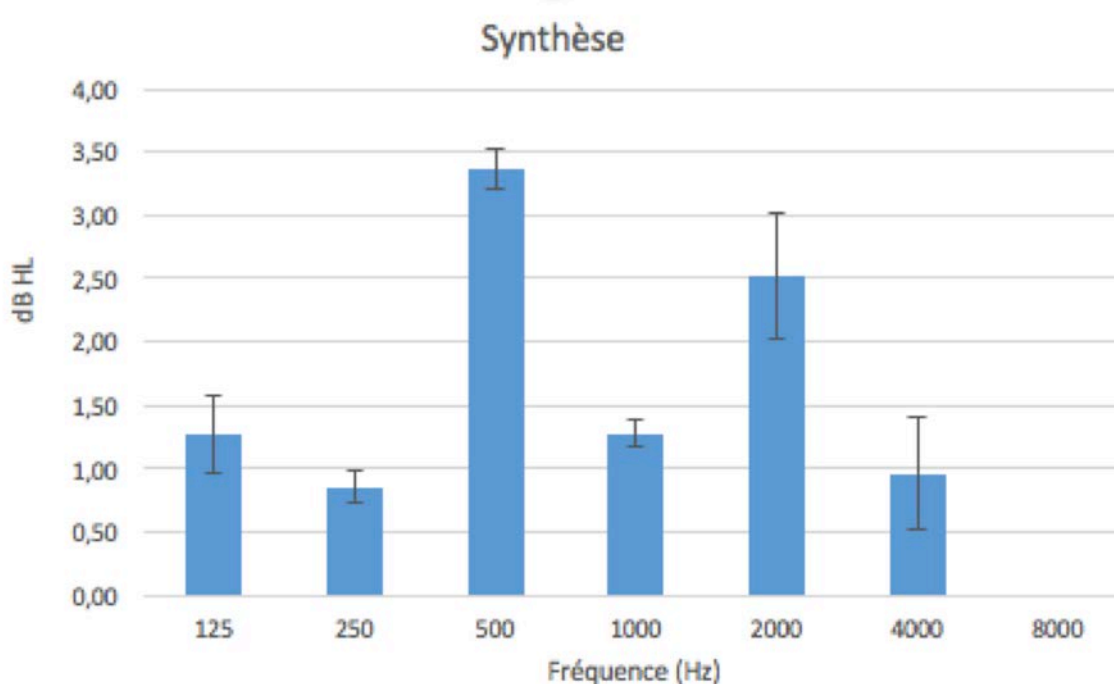


ILLUSTRATION 92 : MOYENNE DES ECARTS-TYPE DES 3 SERIES AVEC REPRODUCTIBILITE DES RESULTATS DE L'ETUDIANT V.

Pour l'étudiant V, on retrouve toujours une disparité assez faible sur les fréquences 125 Hz, 250 Hz, 1000 Hz et 4000 Hz, pouvant atteindre les 1,5 décibels. Le champ reste donc relativement hétérogène. Pour le 8000 Hz le champ acoustique est homogène. Enfin comme précédemment le champ acoustique est hétérogène sur les fréquences du 500 Hz et 2000 Hz avec des valeurs plus importantes atteignant les 3,5 décibels.

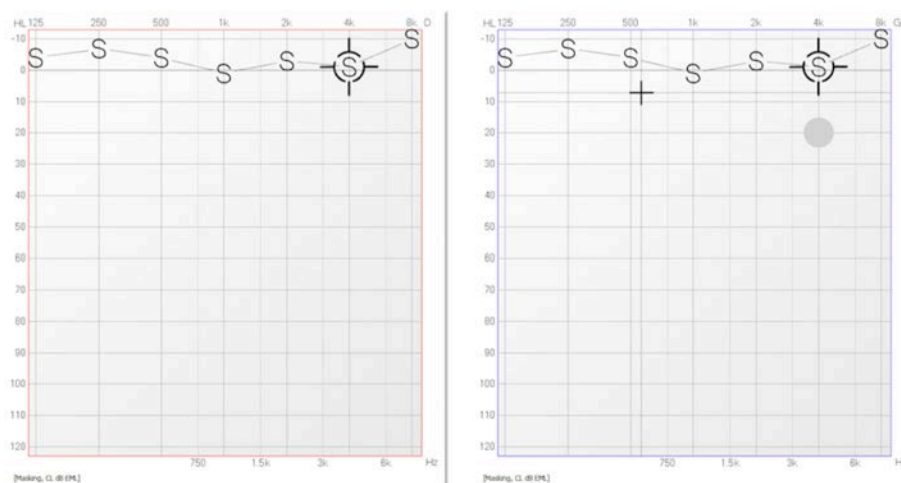


ILLUSTRATION 93 : AUDIOGRAMME DE L'ETUDIANT V EN POSITION CENTRALE

#### 4. Étudiante J

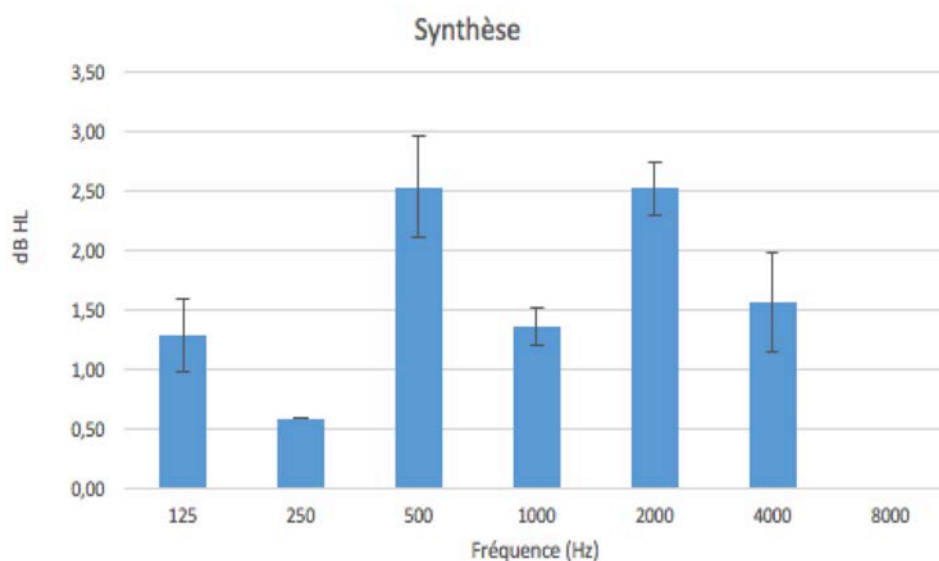


ILLUSTRATION 94 : MOYENNE DES ECARTS-TYPES DES TROIS SERIES AVEC REPRODUCTIBILITE DES RESULTATS DE L'ETUDIANT J.

Pour l'étudiante J, on remarque que le champ acoustique reste homogène sur les fréquences du 250 Hz et 8000 Hz. Par contre sur le reste du spectre étudié, le champ acoustique est plus hétérogène que les étudiants précédents, des écarts types pouvant atteindre la valeur de trois décibels.

On remarque que, lors d'une audiométrie tonale en champ libre les valeurs des seuils auditifs peuvent diverger selon la position de la personne à l'intérieur de la cabine.

Dans ce cas, la reproductibilité est moins bonne que précédemment.

## 5. Étudiant R

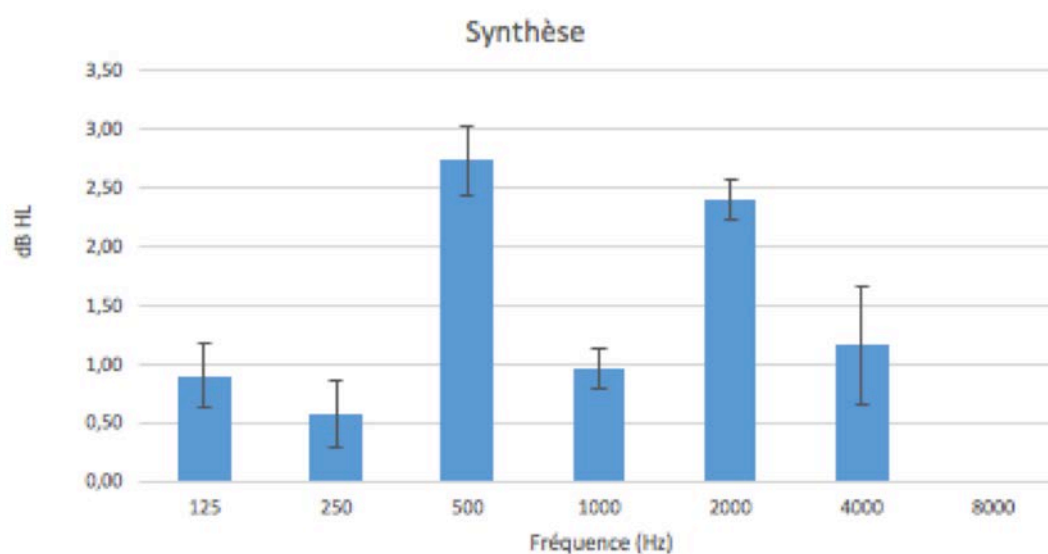


ILLUSTRATION 95 : MOYENNE DES ECARTS-TYPE DES 3 SERIES DE L'ETUDIANT R

Enfin les résultats obtenus pour l'étudiant R rejoignent les résultats précédemment trouvés. En effet nous pouvons voir que les écart-types des octaves 500 Hz et 2000 Hz peuvent atteindre des valeurs aux alentours des trois décibels en tenant compte de la reproductibilité. Sur les autres octaves, le champ acoustique reste relativement homogène avec une disparité un peu plus importante sur l'octave 4000 Hz qui peut s'élever jusqu'à un virgule cinq décibels en tenant compte de la reproductibilité. `

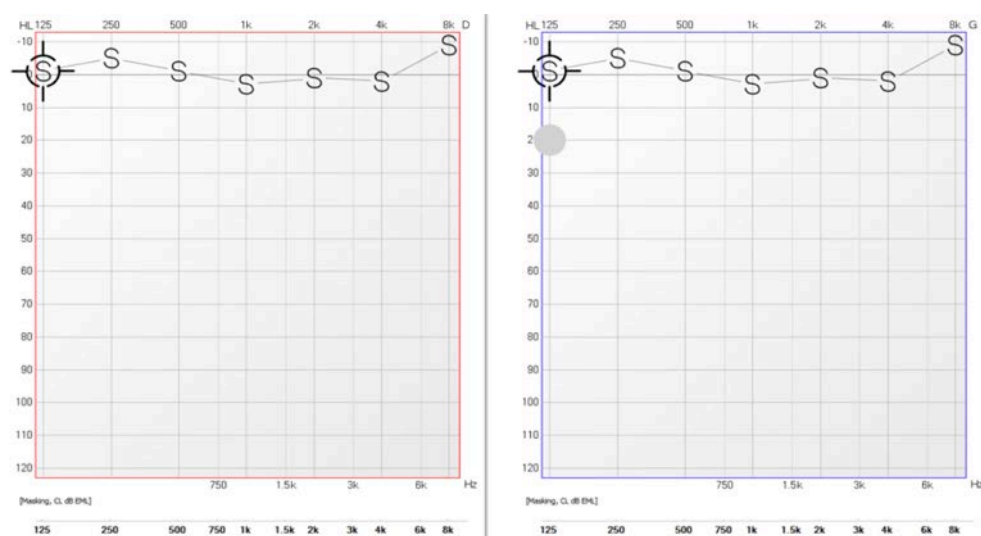


ILLUSTRATION 96 : AUDIOGRAMME DE L'ETUDIANT R EN POSITION EXCENTREE VERS LA PORTE



In fine, le champ acoustique, sur l'étendue du spectre, présente des disparités pouvant altérer la précision des mesures sauf sur l'octave 8000 Hz. Cette partie de l'étude conforte les mesures réalisées avec l'antenne sur l'hétérogénéité du champ acoustique autour des basses fréquences – octave 500 Hz. Il est intéressant d'observer qu'une nouvelle émergence apparaît aux alentours de 2000 Hz, pouvant correspondre à un nouveau mode acoustique apporté par la présence du patient au sein de la cabine.

## B. Audiométrie vocale

Cette partie a comporté 6 séries de 3 mesures chacune, comme nous l'avons vu précédemment : une série pour chaque nombre de haut-parleur, 2, 3 et 5, plus une dernière utilisant à nouveau l'agencement à 5 haut-parleurs, mais où le patient sera cette fois-ci décalé dans l'espace. Les deux séries restantes ont pour but d'observer l'évolution de la compréhension, entre 2 haut-parleurs et 3 haut-parleurs, lorsque le rapport signal sur bruit évolue. Le dessein est de confronter les résultats obtenus avec ceux obtenus avec le SII dans la deuxième partie de l'étude expérimentale.

Les listes étant préenregistrées, les erreurs ont été comptabilisées et sommées à la fin de chaque mesure, puis synthétisés dans un logiciel tableur. Nous allons maintenant présenter et comparer ces résultats.

### 1. Résultats des tests à 2 et 3 haut-parleurs

Entre ces deux configurations, la différence majeure dans la passation du test réside dans la séparation spatiale de la parole et du bruit. Avec 3 haut-parleurs, la parole est équidistante des deux oreilles car elle est émise par le haut-parleur central et le bruit est émis par les haut-parleurs latéraux. Dans celle à 2 haut-parleurs, la parole et le bruit sont tout deux émis par chacun des moniteurs simultanément. La configuration spatiale où la

parole est émise de face et le bruit de dos n'a pas été exploitée en raison des ambiguïtés possibles vis-à-vis des cônes de diffusion (voir Première partie, I. B. 1. b) (5) Une limite à la localisation sonore : les cônes de confusion).

Le test consiste en 2 séries de 3 mesures avec chaque configuration. Une série s'effectue d'abord avec un rapport signal sur bruit de 3, puis la deuxième avec un rapport signal sur bruit de 0. Cette manœuvre a pour objectif de mettre à l'aise le candidat et ne pas le déstabiliser directement. Ce sont les séries par lesquelles chaque candidat a commencé. Le tableau ci-dessous (illustration 97) présente les résultats obtenus lors de ces mesures :

Etudiants	RSB=0	Moyenne séries	RSB=3	Moyenne séries	2HP
G	9\8\4	7,0	6\4\6	5,3	
R	7\6\4	5,7	1\2\3	2,0	
V	7\7\7	7,0	2\6\6	4,7	
M	10\6\8	8,0	5\4\4	4,3	
J	10\8\8	8,7	4\4\4	4,0	./33
	Moy Total	7,3	Moy Total	4,1	
Etudiants	RSB=0	Moyenne séries	RSB=3	Moyenne séries	3HP
G	8\9\8	8,3	3\2\2	2,7	
R	3\1\2	2,0	1\1\2	1,3	
V	8\8\4	6,7	1\1\3	1,7	
M	5\7\3	5,0	8\4\3	5,0	
J	9\8\9	8,7	5\6\3	4,7	./33
	Moy Total	6,1	Moy Total	3,1	

ILLUSTRATION 77 : RESULTAT DU TEST DE NETTETE DE DUPRET AVEC 2 HP ET 3 HP POUR UN RSB DE 0 ET +3. CHAQUE PHONEME MAL OU NON REPETES EST COMPTABILISE. LE NOMBRE MAXIMAL DE FAUTE ATTEIGNABLE EST DE 33.

A première vue ces résultats confortent l'amélioration de l'intelligibilité lorsqu'on ajoute un troisième haut-parleur afin de séparer la parole du bruit dans l'espace.

En premier lieu, les 3 mesures au sein de chaque série, pour chaque candidat, montrent une faible disparité dans le nombre de phonèmes erronés, affirmant ainsi une forme de reproductibilité.

On observe ensuite la diminution du nombre d'erreur de 1 phonème en moyenne sur l'ensemble des candidats à rapport signal sur bruit égal, lorsqu'on ajoute un haut-parleur. De

plus, la détérioration de l'intelligibilité lorsque le rapport signal sur bruit diminue semble linéaire entre 2 et 3 haut-parleurs: dans les deux cas, 3 phonèmes erronés de différence sont à compter.

Pour ces raisons, les résultats déduits pour cet ensemble de mesures semblent comparables et analogues, par rapport à ceux obtenus lors l'étude expérimentale, car on observe une amélioration du SII de 0,08 point et dans cette étude clinique une amélioration de l'intelligibilité de 3 phonèmes reconnus (+10%) lors du passage de 2 HP à 3 HP.

## 2. Résultats des tests à 5 haut-parleurs

Cet ensemble de 2 séries de 3 mesures comparatives n'ont pas la même finalité que les mesures avec 2 et 3 haut-parleurs. On part du postulat que le champ acoustique est équilibré entre les deux oreilles, lorsqu'on emploie un dispositif de 5 haut-parleurs, à une distance raisonnable du patient par rapport : à la taille du local ; aux haut-parleurs utilisés. L'étude du SII a montré que les tests dans le bruit dans une telle configuration augmentent la difficulté du test. En utilisant en rapport signal sur bruit de 0 et un signal masquant émis à 50 dB, les sujets normoentendants sont suffisamment mis en difficulté pour mettre en évidence une disparité dans l'intelligibilité, liée à un défaut dans la posture du patient. Les résultats sont présentés de la même manière que précédemment (illustration 98) :

Etudiants	Face au HP	Moyenne séries	Décalé	Moyenne séries	5HP
G	6\6\7	6,3	3\1\5	3,0	RSB = 0
R	1\2\3	2,0	2\0\0	0,7	
V	8\5\4	5,7	4\5\1	3,3	
M	16\11\11	12,7	10\9\0	6,3	
J	8\7\9	8,0	7\4\7	6,0	. /33
	<u>Moy Total</u>	6,9	<u>Moy Total</u>	3,9	

ILLUSTRATION 78 : RESULTAT DU TEST DE NETTETE DE DUPRET AVEC 5 HP POUR UNE POSITION NORMALE (FACE AU HP CENTRAL) ET EXCENTREE (DECALE DE 15 CM PAR RAPPORT AU HP CENTRAL)

Au sein même de chaque candidat, ces séries de 3 mesures semblent un peu plus contrastées comparées aux mesures précédentes. Cependant, à une exception près où le score est amélioré de 25 % (J), l'ensemble des 4 autres scores présente une amélioration de 50 % en moyenne. Le fait de s'excentrer du haut-parleur central diffusant la parole, c'est-à-dire rompre l'équidistance, dans le signal perçu aux deux oreilles, semble améliorer la

compréhension. Ces résultats contrastent avec l'étude du SII car une détérioration découlait de l'excentricité. Cependant, le déséquilibre ainsi provoqué montre que les étudiants ont été plus aptes à exploiter les indices liés à l'écoute binaurale.

De plus, la moyenne totale des erreurs est en adéquation avec le caractère plus rigoureux et difficile des épreuves vocales dans le bruit à 5 haut-parleurs : la moyenne totale de ces erreurs se situe entre la moyenne obtenue avec 2 haut-parleurs et celle calculée avec 3 haut-parleurs. Cela va en adéquation avec l'étude du SII car l'utilisation de 5 HP a montré que le bruit remplit son rôle de masqueur de manière plus efficace.

### III) Conclusion

#### A. Audiométrie tonale

Après avoir analysé les résultats de chaque série d'audiométrie pour chaque étudiant, on peut donc conclure que le champ acoustique, dans une cabine audiométrique que l'on pourrait être amené à retrouver dans un laboratoire d'audioprothèse, présente une hétérogénéité prédominante sur les fréquences 500 Hz et 2000 Hz.

Néanmoins le champ acoustique sur les autres fréquences, à l'exception du 8000 Hz, ne présente qu'une légère disparité.

Au vu de cette étude clinique, nous pouvons voir que lorsqu'une audiométrie tonale en champ libre est réalisée dans une cabine audiométrique, les seuils mesurés peuvent différer selon l'emplacement du sujet et selon la fréquence testée.

Il est donc nécessaire de traiter, à l'aide de matériaux absorbants, les cabines audiométriques afin de limiter au maximum la formation d'ondes stationnaires et par conséquent les erreurs de mesures.

## B. Audiométrie vocale

Au vu des différences mesurées dans les résultats entre 2 haut-parleurs et 3 haut-parleurs, il est bon de considérer l'utilisation d'au minimum 3 haut-parleurs dans la passation d'audiométries vocales dans le bruit. La diffusion simultanée de deux signaux différents dans le même transducteur nuit à l'intelligibilité. Cependant, les faibles différences d'intelligibilité observées, en complément de l'étude objective, montrent que cela peut s'avérer suffisant dans la passation de tests audiométriques vocaux dans le silence.

Finalement, l'étude de l'excentricité a montré que, de manière générale, une non-équidistance, entre les deux oreilles dans la réception du signal de parole, entraîne une asymétrie dans l'estimation du SII entre les deux oreilles (0,12 points de différence avec 3 HP et 0,07 points avec 5 HP). C'est un caractère à considérer avec prudence lors de l'évaluation audiométrique, oreilles nues, car la variation des indices de localisations peuvent donc corrompre le résultat. Il est alors impératif de s'assurer que le patient soit dans la position d'écoute recommandée afin que la mesure soit la plus fiable et la plus reproductible possible.

## IV) Confrontation des résultats entre l'étude objective et subjective

### A. Audiométrie tonale

Après avoir réalisé l'étude subjective sur des étudiants en audioprothèse, nous allons les comparer à ceux trouvés lors de l'étude objective réalisée à l'aide de l'antenne microphonique.

Lors de l'étude objective nous avons mis en évidence une hétérogénéité du champ acoustique essentiellement dans les basses fréquences. En effet nous avons obtenu des différences allant jusqu'à 8 décibels sur les fréquences du 250 Hz et 500 Hz entre les différents demis-espace dans les différentes positions étudiées.

Pour l'étude subjective, réalisée dans la même cabine audiométrique, nous pouvons noter des différences, entre les trois positions, bien moindres sur la fréquence du 250 Hz (1,5 décibels).

Cependant sur la fréquence du 500 Hz nous pouvons voir que le champ acoustique est bien moins homogène et se rapproche des résultats trouvés lors de la précédente étude. De plus nous observons une dégradation du champ acoustique sur la fréquence du 2000 Hz (environ trois décibels). Cette hétérogénéité sur cette fréquence n'avait pas été mise en évidence lors de l'étude objective. La présence du sujet perturbe donc le champ acoustique à cette octave.

Nous pouvons donc conclure que les résultats, entre l'étude objective et subjective, se rejoignent. On constate une hétérogénéité du champ acoustique sur l'ensemble du spectre à l'exception de l'octave 8000 Hz. C'est au niveau des basses fréquences que nous avons constaté les disparités les plus importantes.

Il est donc important de prendre toutes les précautions nécessaires (traitements acoustiques) pour réaliser des relevés de seuils auditifs précis. En effet, selon la position prise par le patient à l'intérieur de la cabine audiométrique, des erreurs de mesures peuvent être constatées. Ces erreurs peuvent avoir des répercussions importantes sur les mesures réalisées.

## B. Audiométrie vocale

L'étude expérimentale, décomposée en deux parties successives, a montré, grâce à l'utilisation de l'antenne microphonique puis du Kemar, une légère disparité du champ acoustique dans les salles de mesures audioprothétiques courantes.

Ces disparités varient en fonction : du nombre de haut-parleurs utilisés ; de leur distance vis-à-vis du récepteur ; de leur distance par rapport aux murs du local ; de la position même du patient lors de l'examen. Nombreux sont les facteurs influant sur la qualité d'une mesure audioprothétique. Même si un local est bien traité acoustiquement, l'étude de l'homogénéité en audiométrie tonale nous a montré qu'un mode, persistant et propre à la salle, peut nuire à une mesure aussi fine que celle de l'audiométrie tonale liminaire.

La position du patient, l'orientation des haut-parleurs et leur nombre étant les facteurs les plus manipulables à contrôler, ce sont ceux qui ont variés lors de notre expérience.

D'un point de vue objectif, plus le nombre de haut-parleur augmente, et plus la distance au récepteur augmente, meilleure est la qualité acoustique – dans la mesure du possible quant au local employé. L'orientation des haut-parleurs influe également : le champ acoustique tend à être plus homogène lorsque les haut-parleurs sont éloignés les uns des autres. Suite à ces précautions, l'amélioration obtenue peut mener à une augmentation de 0,1 point dans le SII, intelligibilité objective, faisant passer cet indice de 0,8 à 0,9 lorsqu'on passe de 2 à 3 haut-parleurs.

Les mesures avec 5 haut-parleurs ont montré qu'un test vocal dans le bruit est plus fiable et plus objectif avec un tel dispositif car le bruit arrive de manière plus uniforme à l'oreille – rendant par conséquent le test plus difficile donc plus réaliste. Enfin, la moindre excentricité de la part du patient, par rapport à la position prévue initialement, peut entraîner des hétérogénéités dans le champ acoustique, pouvant avoir des impacts sur l'intelligibilité. Ces disparités sont du même ordre de grandeur que celles obtenues par le passage de 2 à 3 haut-parleurs.

Il s'agit ensuite de confirmer de manière clinique les 3 observations constatées : sur la séparation spatiale de la source et du bruit ; sur la fiabilité d'un test « surround » avec 5 haut-parleurs ; sur l'impact de l'excentricité du patient. L'étude clinique réalisée a fait appel à 5 étudiants normoentendants. Le test vocal dans le bruit employé compare la compréhension de logatomes, entre 2 configurations à 2 et 3 haut-parleurs, lorsque parole

et bruit sont séparés ou non. Il compare également la compréhension à 5 haut-parleurs lorsque le patient est dans la position d'écoute convenable et lorsqu'il est excentré de sa position.

Les résultats de cette petite étude clinique vont en adéquation avec les observations faites dans la partie objective. La séparation spatiale de la parole et du bruit a en effet augmenté l'intelligibilité, car les étudiants ont pu exploiter les indices de localisation employés dans l'écoute binaurale afin de ségréguer le signal du son masquant.

En revanche, lorsque les étudiants se sont excentrés de leur position, ils ont brisés l'équidistance dans la réception du signal entre les deux oreilles. L'utilisation des indices de localisation déjà rendue possible de part la configuration à 5 haut-parleurs s'est retrouvée accrue grâce à l'écoute privilégié d'une oreille comparée à l'oreille controlatérale. Cela a permis une utilisation plus accrue des phénomènes de démasquage spatiale (voir Première Partie, I. B. 1. c) (2) Le démasquage spatial en champ libre). Cela ne va pas dans le sens de l'étude théorique dans la mesure où l'intelligibilité a augmenté au lieu d'avoir diminué. Mais dans l'absolu, l'objectif est de montrer que cette excentricité corrompt les résultats obtenus par une mesure vocale, donc en ce sens, les deux études se rejoignent.

Il est alors important de prendre toutes les dispositions nécessaires dans l'aménagement d'un local : traitement acoustique des parois et des portes ; un agencement espacé des haut-parleurs entre eux et par rapport aux murs, afin que les mesures audiométriques en champ libre soient le plus fiables possibles. Malgré ces précautions, la répartition du son peut impacter l'objectivité des mesures dans le bruit. Même si dans le calme les différences induites peuvent ne pas être significatives, différences atteignant au maximum 3 dB, il faut les considérer avec parcimonie. Elles peuvent en effet induire des variations dans des mesures liminaires tonales en champ libre. Enfin, il est primordial de s'assurer que le patient soit dans une position convenable vis-à-vis des haut-parleurs, de manière continue pendant toute la durée de l'examen. Le test doit en effet être le plus reproductible possible. La moindre excentricité peut entraîner une utilisation accrue des indices binauraux, améliorant ainsi le score de compréhension. Même si cela est plus proche de la réalité, cela a pour effet de tronquer la fiabilité de l'examen vocal.



# Conclusion

La problématique de cette étude touche à la fiabilité des examens audiométriques tonals et vocaux en champ libre, prenant place au sein de nos locaux de mesure audioprothétique. Les locaux occupés pour cette étude respectent les décrets officiels ainsi que les recommandations du collège national d'audioprothèse en termes d'absorption et d'isolation acoustique. Les deux versants de l'étude nous ont conjointement permis de réaffirmer des précisions concernant les bonnes pratiques de ces examens.

L'impact des conditions de mesure en champ libre en audiométrie tonal, a premièrement été étudié. Les mesures dans le BESA et dans la cabine insonorisée ont montré des émergences fréquentielles en basse-fréquence autour de 250-500 Hz, en raison des modes relatifs aux salles de mesure.

Une petite étude clinique tend à confirmer l'impact de ces modes dans les mesures en champ libre. Des différences de 1 à 3 dB ont en effet été observées. Ces variations sont peu significatives sur les fréquences aiguës mais plus importante sur les fréquences plus graves (<1000 Hz). Ces différences peuvent varier en fonction de la position du patient. Malgré la spécificité de ces cabines à la mesure audioprothétique, le champ est relativement hétérogène.

Les basses fréquences sont difficiles à traiter d'un point de vue acoustique, l'idéal pour les réduire au maximum est d'utiliser des diffuseurs de Schroeder afin d'harmoniser au mieux le champ acoustique autour de la tête du patient.

L'étude de cet impact en audiométrie vocal s'est déroulée dans un local de mesure dédié à la stéréo-audiométrie. Dans cette seconde partie, la disposition des haut-parleurs dans le local a varié : seul facteur pouvant influencer dans l'homogénéité du champ acoustique.

Des mesures avec des configurations minimalistes à 2 haut-parleurs jusqu'à des configurations plus élaborées à 5 haut-parleurs ont été effectuées. Les différences moyennes maximales entre les deux oreilles atteignent 3 dB. De manière analogue à l'étude tonale, ces différences sont plus importantes en basses-fréquences qu'en hautes-fréquences. L'utilisation de surface convexes et de diffuseurs de Schroeder est encore une fois recommandée.

De manière générale, il faut espacer les haut-parleurs les uns des autres et les éloigner au maximum du patient afin d'harmoniser le champ acoustique. Il est recommandé d'utiliser au minimum 3 haut-parleurs afin de minimiser au mieux ces différences.

L'étude de l'intelligibilité découlant de ces configurations confirme les premières observations réalisées en amont sur la disposition des haut-parleurs. La petite étude clinique et les mesures avec le Kemar ont montré que l'intelligibilité reste relativement bonne quel que soit les configurations employées. L'utilisation de deux haut-parleurs est une possibilité dans la passation de tests vocaux dans le calme, mais l'impossibilité de relief stéréophonique rend leur emploi déconseillé dans le bruit.

Cette étude confirme les diverses recommandations sur les dispositions de haut-parleurs quant au type d'examen envisagé. La principale mise en garde est surtout comportementale : le patient doit strictement rester dans la position prévue pour l'examen. Vis-à-vis des haut-parleurs, il se doit d'être de marbre. En effet, une infime excentricité de 15 cm peut corrompre les conditions de mesure, avec des différences pouvant atteindre 0,1 point sur le SII. Contre toute-attente, il s'agit dans l'étude clinique d'une amélioration des résultats d'intelligibilité grâce à l'exploitation des indices de localisation intervenant dans l'écoute binaurale. Peut-être cela est-il plus représentatif de la réalité auditive ?

Il aurait été intéressant de poursuivre cette étude clinique avec une cohorte plus importante, mais de patients malentendants. Cela pourrait mettre en évidence des disparités liées au pincement de la dynamique auditive, au recrutement. Ainsi, il aurait été intéressant d'étudier ces configurations sur des mesures tonales liminaires et supraliminaires, comme il pourrait être le cas dans une évaluation d'efficacité prothétique. Ces mesures englobent l'évaluation des seuils d'inconfort et de confort, les épreuves de localisation spatiales. Ce sont tout autant de tests et de configurations qu'il faudrait approfondir à la suite de cette étude.

## Bibliographie

- [1] Décret n°85-590 du 10 juin 1985 fixant les conditions d'aménagement du local réservé à l'activité d'audioprothésiste.
- [2] Précis d'audioprothèse Tome 1, L'appareillage de l'adulte, Le bilan d'orientation prothétique, édition du Collège National d'Audioprothèse 1997.
- [3] Méthodes d'essais audiométriques – Partie 2 : audiométrie en champ acoustique avec des sons purs et des bruits à bandes étroite comme signaux d'essai, Norme NF ISO 8253, Mars 2010.
- [4] ZINI Y., Mémoire de fin d'étude, Impact du bruit de fond dans une cabine audiométrique sur l'audiométrie tonale liminaire en conduction aérienne et en conduction osseuse, p 19, p 23, p 20, p 65.
- [5] Précis d'audioprothèse Tome I, L'appareillage de l'adulte, Le bilan d'orientation prothétique, édition du Collège National d'Audioprothèse, 1997, p 71.
- [6] Précis d'audioprothèse Tome I, L'appareillage de l'adulte, Le bilan d'orientation prothétique, édition du Collège National d'Audioprothèse, 1997, p 70.
- [7] Site internet : <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11268>, Site explicatif sur les éléments théoriques de bases en acoustique, date de consultation Avril 2016.
- [8] Précis d'audioprothèse Tome I, L'appareillage de l'adulte, Le bilan d'orientation prothétique, édition du Collège National d'Audioprothèse, 1997, p 76.
- [9] Site internet : <http://www.laborenard.fr/protection-entreprise-audiologie-renard.html>, Site du laboratoire d'audiologie Renard, le choix d'une protection individuelle contre le bruit, date de consultation Avril 2016.
- [10] Dr RUMEAU C., Cours d'Audiologie sur l'anatomie de l'oreille externe, DE d'Audioprothésiste 1ère année, Faculté de Pharmacie de Nancy, 2013-2014.
- [11] Site internet : <http://www.neuroreille.com/promenade/francais/ear/exear/exear.htm>, Site de l'association Neuroreille, L'oreille externe : fonction de transfert et gain acoustique, date de consultation Avril 2016.
- [12] Précis d'audioprothèse Tome I, L'appareillage de l'adulte, Le bilan d'orientation prothétique, édition du Collège National d'Audioprothèse, 1997, p 74-77 et p 194.
- [13] Site internet : <http://mpeea.free.fr/data/enique/Acoustique-2-12.pdf>, Site de l'Université de Franche-Comté, Cours d'Acoustique, date de consultation Mai 2016.

[14] Zéro de référence pour l'étalonnage d'équipements audiométriques, Partie 7 : Niveau liminaire de référence dans des conditions d'écoute en champ libre et en champ diffus, Norme NF ISO 389-7, Décembre 1996, p. 2-3.

[15] Pr DUCOURNEAU J., Cours d'acoustique de Propagation des ondes planes, DE d'Audioprothésiste, 1ère année, Faculté de Pharmacie de Nancy, 2013-2014.

[16] Site internet : <http://www.pro-isophony.fr/index.php/produits-pro-isophony/diffuseurs-de-schroeder.html>, Site de pro-isophony, Les diffuseurs de Schroeder, date de consultation Mai 2016.

[17] Méthodes d'essais audiométriques – Partie 3 : audiométrie vocale, Norme NF ISO 8253-2, Mai 2012.

[18] Méthode d'évaluation subjective des dégradations faibles dans les systèmes audio, Norme BS 1116 – 1, 1994-1997.

[19] Pr DUCOURNEAU J., Cours d'acoustique de Traitement du signal, D.E d'Audioprothésiste 3ème année, Faculté de Pharmacie de Nancy, 2015-2016, p 4, p 6, p 9, p 10.

[20] Site internet : <http://www.sonorisation-spectacle.org/ondes-stationnaires.html>, Site de l'agence culturelle d'alsace, les ondes stationnaires, date de consultation Mai 2016.

[21] Précis d'audioprothèse Tome I, L'appareillage de l'adulte, Le bilan d'orientation prothétique, édition du Collège National d'Audioprothèse, 1997, p 205-206.

[22] Précis d'audioprothèse Tome I, L'appareillage de l'adulte, Le bilan d'orientation prothétique, édition du Collège National d'Audioprothèse, 1997, p 221-223.

[23] Site internet: <http://www.cochlea.eu/exploration-fonctionnelle/methodes-subjectives/audiometrie-vocale>, Site de l'association Neuroreille, Audiométrie vocale, date de consultation Mai 2016, 2014.

[24] Trevor J., Peter d'Antonio, Acoustics absorbers and diffusers Theory, Design and Application, Spon Press, 2004.

[25] Pr. DUCOURNEAU J., Power Point de présentation aux Études Post-Universitaire (EPU), Collège National d'Audioprothèse, 2015.

[26] Illustration de la localisation spatiale issue du site internet: <http://www.micha.fr/edu/spip.php?article8>, date de consultation juin 2016

[27] Informations ITD, IPD, Schéma IPD :

<http://www.open.edu/openlearn/ocw/mod/oucontent/view.php?id=2577&printable=1> , date de consultation juin 2016

[28] Guillaume LE NOST, Rapport de stage DEA-ATIAM, Modèle de fonction de transfert acoustique humaine (HRTF), et application à l'individualisation de la synthèse binaurale, modèle sphérique et ellipsoïdaux ; Université Paris 6, Université Aix-Marseille, INPG-Grenoble, 2002, p6-7.

[29] Illustration cône de confusion issue du site internet :

<http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/ACD/images/The.Role.of.D.Fig2.gif> ,date de consultation juin 2016.

[30] Mechanisms of sound localization in mammals, Grothe, Pecka, Mc Alpine, Physiological Reviews, 1 july 2010, Vol. 90 no.3,983-1012.

[31] The Oxford Handbook of Auditory Science : Hearing, Chief editor : David R. Moore, edited by Christopher J. Plack, p130-133.

[32] Article issu d'un site internet : Troisième partie : Analyse de scènes auditives, Alain de Cheveigné, 2002.

[http://recherche.ircam.fr/equipes/pcm/cheveign/pss/2002\\_hermes\\_v1ch5.pdf](http://recherche.ircam.fr/equipes/pcm/cheveign/pss/2002_hermes_v1ch5.pdf)

[33] The Spatial unmasking of speech : Evidence for better-ear listening, Edmonds and Culling, 2006, School of Psychologie, Cardiff University, p1539-1545

[34] Speech intelligibility, Spatial unmasking, and realism in reverberant spatial auditory displays, Shin-Cunningham, Boston University Hearing Research Center, Department of cognitive and neural system and biomedical engineering ; Proceedings of the 2002 International Conference on Auditory Display, Kyoto, Japan, July 2-5, 2002.

[35] Feddersen, W. E., Sandel, T. T., Teas, D. C., Jeffress, L. A. (1957) Localization of high frequency tones. Journal of the Acoustical Society of America. 5:82-108

[36] Short Description of the International Speech Test Signal (ISTS), Holube, Vlamming, EHIMA-ISMADHA Working Group, 17 octobre 2011.

[37] Intelligibilité prédite, intelligibilité perçue – Première partie : le SII (Speech Intelligibility Index) en audioprothèse, Xavier DELERCE, Cecile GOBLE.

[38] Précis d'audioprothèse, l'appareillage de l'adulte, Tome III, Le Contrôle d'Efficacité Prothétique, édition du Collège National d'Audioprothèse, 2007, p41

[39] Auditory Scene Analysis : The Perceptual Organization of Sound, Albert S. Bregman, 1990, édition 1994.

[40] Précis d'audioprothèse, l'appareillage de l'adulte, Tome III, Le Contrôle d'Efficacité Prothétique, édition du Collège National d'Audioprothèse, 2007, p111-116

[41] Précis d'audioprothèse, l'appareillage de l'adulte, Tome III, Le Contrôle d'Efficacité Prothétique, édition du Collège National d'Audioprothèse, 2007, p167-188

[42] Illustration de l'IPD issue du site internet : <http://www.open.edu/openlearn/ocw/mod/oucontent/view.php?id=2577&printable=1> , date de consultation juin 2016.

[43] Illustration de la résolution des ambiguïtés avant-arrière issue du site internet : <http://acousticslab.org/psychoacoustics/PMFiles/Module07b.htm> , date de consultation juin 2016.

A	x = 961 740 (sommet A du permis initial)	y = 3 151 580
F	x = 961 135 (sommet F du permis initial)	y = 3 147 500
I	x = 961 200 (sommet I du permis initial)	y = 3 146 500
J	x = 958 980	y = 3 146 460
E	x = 959 300 (sommet E du permis initial)	y = 3 149 550

Nota. - L'extrait de carte mentionné ci-dessus pourra être consulté par le public à la direction générale de l'énergie et des matières premières (bureau de législation), 97, rue de Grenelle, Paris (7<sup>e</sup>), ainsi que dans les bureaux de la direction régionale de l'industrie et de la recherche de Provence-Alpes-Côte d'Azur, 33, boulevard Périer, à Marseille.

## MINISTÈRE DES AFFAIRES SOCIALES ET DE LA SOLIDARITÉ NATIONALE

### Décret n° 85-590 du 10 juin 1985 fixant les conditions d'aménagement du local réservé à l'activité d'audioprothésiste

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre de la défense, du ministre de l'éducation nationale, du ministre des affaires sociales et de la solidarité nationale, porte-parole du Gouvernement,

Vu le code de la santé publique, et notamment les articles L. 510-4 ;

Vu le décret n° 70-428 du 14 mai 1970 fixant les conditions d'aménagement du local réservé à l'activité professionnelle d'audioprothésiste,

Décrète :

Art. 1<sup>er</sup>. - Le local réservé à l'activité professionnelle d'audioprothésiste comprend :

1. Soit un cabinet et une cabine insonorisée, soit une salle de mesures audioprothétiques d'un volume utile minimum de quinze mètres cubes. Dans les deux cas, le niveau de bruit dans les conditions normales d'utilisation ne doit pas excéder quarante décibels A exprimé en niveau constant équivalent sur une durée de mesure d'une heure ; ce temps de réverbération ne doit pas, pendant les mesures audioprothétiques, y être supérieur à 0,5 seconde à la fréquence de 500 hertz.

2. Une salle d'attente distincte de la salle de mesures audioprothétiques.

3. Un laboratoire isolé de la salle de mesures audioprothétiques lorsqu'il y a fabrication d'embouts ou de coques.

Art. 2. - L'audioprothésiste doit disposer dans le local défini à l'article 1<sup>er</sup> des matériels suivants :

1. Matériel de mesures audioprothétiques :

- un audiomètre tonal et vocal classe A normalisé ou un ensemble audiométrique équivalent comportant des sorties sur écouteurs, vibreur, haut-parleur. Un système de localisation sonore est composé d'au moins trois haut-parleurs distants d'un mètre au moins par rapport au sujet testé ;

- un dispositif permettant l'équilibrage des prothèses stéréophoniques ;

- une boucle magnétique ;

- un dispositif permettant d'effectuer des tests d'audition dans le bruit ;

- un dispositif de conditionnement audiométrique adaptable aux aptitudes psychomotrices du sujet testé, comprenant notamment en cas d'appareillage du jeune enfant un matériel d'audiologie infantile ;

- un dispositif permettant de tester l'efficacité des prothèses auditives vis-à-vis de différents moyens de communication ;

- une chaîne de mesure électro-acoustique permettant de contrôler les caractéristiques des amplificateurs correcteurs de l'audition courbe de réponse, gain ou formant acoustique, distorsions, niveau de sortie ;

- un sonomètre de précision normalisé.

2. Matériel et produits nécessaires aux prises d'empreintes du conduit auditif : otoscope éclairant, miroir de Clar pour l'examen du conduit auditif externe, seringues à empreintes, spéculum d'oreille.

3. Matériel d'entretien nécessaire à la maintenance des amplificateurs correcteurs de l'audition et des embouts.

Art. 3. - Le décret du 14 mai 1970 susvisé est abrogé.

Art. 4. - A titre dérogatoire, les audioprothésistes, en exercice à la date de publication du présent décret et ne disposant pas d'un local professionnel répondant aux conditions d'aménagement définies aux articles 1<sup>er</sup> et 2, peuvent continuer à exercer leur activité dans les conditions anciennement définies par le décret du 14 mai 1970, sous réserve de se conformer aux présentes dispositions avant le 1<sup>er</sup> juillet 1986.

Art. 5. - Le ministre de la défense, le ministre de l'éducation nationale, le ministre des affaires sociales et de la solidarité nationale, porte-parole du Gouvernement et le secrétaire d'Etat auprès du ministre des affaires sociales et de la solidarité nationale, porte-parole du Gouvernement, chargé de la santé, sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait à Paris, le 10 juin 1985.

LAURENT FABUS

Par le Premier ministre :

Le ministre des affaires sociales  
et de la solidarité nationale,  
porte-parole du Gouvernement,  
GEORGINA DUFOIX

Le ministre de la défense,  
CHARLES HERNU

Le ministre de l'éducation nationale,  
JEAN-PIERRE CHEVÈNEMENT

Le secrétaire d'Etat auprès du ministre  
des affaires sociales et de la solidarité nationale,  
porte-parole du Gouvernement, chargé de la santé,  
EDMOND HERVÉ

### Décret n° 85-591 du 10 juin 1985 relatif à l'indemnisation des gardes médicales et des astreintes effectuées dans les établissements hospitaliers publics

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre de l'économie, des finances et du budget, du ministre de l'intérieur et de la décentralisation et du ministre des affaires sociales et de la solidarité nationale, porte-parole du Gouvernement,

Vu le décret du 17 avril 1943 portant règlement d'administration publique pour l'application de la loi du 21 décembre 1941 relative aux hôpitaux et hospices publics, modifié, et notamment ses articles 225, 226 et 226 bis ;

Vu le décret n° 64-207 du 7 mars 1964 modifié relatif aux conditions de recrutement et au statut des externes et des internes en médecine des centres hospitaliers régionaux faisant partie d'un centre hospitalier et universitaire, et notamment ses articles 32 et 36 ;

Vu le décret n° 73-848 du 22 août 1973 modifié relatif à l'internat en pharmacie, et notamment ses articles 20 et 26 ;

Vu le décret n° 82-634 du 8 juillet 1982 relatif à la prise en compte des rémunérations des praticiens, à la tarification des consultations externes et au contrôle de l'activité médicale hos-



## Annexe 2

### MADSEN Astera

#### Technical specifications:

<b>Channels</b>	
Two separate and identical channels	
<b>Frequency range</b>	
FRESH noise stimulus*	125 - 12500 Hz
Insert phones:	Standard frequencies: 125 - 8000 Hz
TDH-39:	Standard frequencies: 125 - 12500 Hz
HDA 200 phones:	Standard frequencies: 125 - 20000 Hz
BC:	Standard frequencies: 250 - 8000 Hz
SF:	Standard frequencies: 125 - 20000 Hz
Frequency resolution:	1/6, 1/3, 1/2, 1/24 and 1/48 octave as well as 1 Hz**
NRN masking:	Available for each stimulus frequency
* Range may be limited by choice of transducer	
** Resolution does not apply to all stimuli for each audiometry mode	
<b>Stimulus types</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tone</li> <li>Warble</li> <li>Pulsed tone</li> <li>Pulsed warble</li> <li>FRESH noise (Frequency-Specific Hearing assessment noise)</li> <li>Pulsed FRESH noise</li> </ul>	
<b>Masking types</b>	
Narrow Band Noise	
AC and BC	Correlated
SF	Non-correlated**
Speech Weighted Noise	
AC and BC	Correlated
SF	Non-correlated**
White Noise (Wide band noise)	
AC and BC	Correlated
SF	Non-correlated**
** A minimum of 2 non-correlated channels is required	
<b>Stimulus modulation</b>	
FM (Werbly):	Adjustable modulation rate and depth: Modulation rate: 1-20 Hz (default: 5 Hz) Modulation depth: 1-25% of carrier frequency (default: 5%)
SISI:	5, 2, 1 dB increments
<b>Special tests</b>	
M.D., ARLB, SISI, Weber, Rinne, Stenger, Tone Decay, Tinnitus tests	
<b>Accuracy of sound level</b>	
Entire level range (AC):	125 to 5000 Hz: $\pm 3$ dB
Entire level range (BC):	5000 to 20000 Hz: $\pm 5$ dB
Entire level range (SF):	250 to 5000 Hz: $\pm 4$ dB
	5000 to 8000 Hz: $\pm 5$ dB
<b>Attenuator</b>	
1, 2, or 5 dB step resolution over the entire range	
<b>HL Range</b>	
Maximum output will be limited by the transducer	
AC:	-10 to 120 dB HL (500 to 4000 Hz; supra-aural earphone)
BC:	-10 to 80 dB HL (1500 to 3000 Hz; mastoid placement)
SF:	102 dB SPL in a 6' by 6' or 2 x 2 m sound room
<b>Total harmonic distortion</b>	
Air $\leq 2.5$ %	
Bone $\leq 5$ %	
<b>Selectable transducers</b>	
AC:	TDH39, HDA 200, and insert phones
BC:	871 (Mastoid / Forehead)
SF:	Passive sound field speaker, using the built-in amplifier in MADSEN Astera, or Sound field speaker with built-in amplifier or external amplifier, with both types using the line output from MADSEN Astera

(Transducer options depend on how MADSEN Astera is ordered and calibrated)

<b>Outputs</b>	
AC:	3 x 2 mono jacks, 1/8"
BC:	2 x mono jacks, 1/8"
SF power output:	4 x terminals, 4 x 40 W peak, 80 load
SF line output:	4 x RCA phone, 4 x 1.6 Vrms
<b>External inputs</b>	
CD/Tape:	0.2 to 2.0 Vrms, 60 k $\Omega$ , 2 x RCA phone
Talk Back microphone:	Electret microphone
Input voltage:	0.002 to 0.02 Vrms
Input resistance:	2.21 k $\Omega$
	3.5 mm jack
<b>Stimulus presentation</b>	
Normal:	The signal is presented when the Stimulate button is pressed
Continuous ON:	The signal is interrupted when the Stimulate button is pressed
Pulse:	The signal is pulsed
Pulse duration:	200 ms on and 200 ms off
<b>USB port connector</b>	
Type:	USB device port
Compliant:	USB 2.0
Speed:	Full-speed (12 Mbit/s)
<b>Dimensions</b>	
Approx. 325 x 255 x 60 mm (12.8 x 10 x 2.4 inches)	
<b>Weight</b>	
Approx. 1.3 kg (2.85 lb)	
<b>Power supply</b>	
External power supplies, type:	
Output:	24 V, 3.75 A
Input:	100-240 V, 50-60 Hz, 1.0 A
<b>Standards</b>	
Audiometer:	EN60645-1, Type 1, EN60645-2 Type A-4, EN60645-4, and ANSI S3.6
Patient Safety:	Complies with EN 60601-1, Class 1, Type B, IEC 60601-1, CAN/CSA-C22.2 NO 601.1-90
EMC:	EN 60601-1-2
<b>Audiometer Control Panel</b>	
<b>USB port connector</b>	
Type:	USB device port
Compliant:	USB 2.0
Speed:	Full-speed (12 Mbit/s)
<b>Dimensions</b>	
Approx. 410 x 290 x 38 mm (16.1 x 11.4 x 1.4 inches)	
<b>Weight</b>	
Approx. 2.1 kg (4.6 lb)	
<b>Power supply</b>	
No external power supply. Supplied by the USB (5 V)	
* If you are using a USB hub, use a powered USB hub	
<b>PC System Requirements</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pentium 4, 1.5 GHz</li> <li>1 GB RAM</li> <li>32 MB graphics adapter, 32 bit color</li> <li>3 GB free disk space for installation of this software</li> <li>Windows XP Professional SP3, Windows 2000 SP3 or Windows Vista</li> <li>Internet Explorer 8 Service Pack 1</li> <li>A USB port for connection of the audiometers</li> <li>NOAH 3.1" or higher for NOAH mode operation: <a href="http://www.otometrics.com">www.otometrics.com</a></li> </ul>	

Specifications are subject to change without notice. Copyright © Otometrics, 2010/2011. 7-36-000001

 Hearing Assessment
  Fitting Systems
  Balance Assessment

GN Otometrics, Europe: +45 45 75 55 55, [info@gnotometrics.dk](mailto:info@gnotometrics.dk)  
 GN Otometrics, North America: 1-800-289-2150, [sales@gnotometrics.com](mailto:sales@gnotometrics.com)  
[www.myaudiometer.com](http://www.myaudiometer.com) [www.otometrics.com](http://www.otometrics.com)

  
**otometrics**  
 MADSEN · AURICAL · ICS

Annexe 3 : Mesures du champs acoustique avec 2HP

Place	Config	Moy Diff D	Moy Diff G	Rang	Angle
1	Config 1	2,262	2,149	12	20°
2	Config 2	3,097	3,122	5	50°
3	Config 3	3,163	3,041	14	30°
4	Config 4	1,887	1,949	8	90°
5	Config 4p	1,953	2,068	13	90°
6	Config 4l	2,141	1,669	11	90°
7	Config 5	1,882	1,975	10	70°
8	Config 6	2,218	2,187	7	60°
9	Config 6p	2,636	2,646	4	60°
10	Config 6l	2,104	2,105	1	60°
11	Config 7	1,7	1,85	15	80°
12	Config 7p	2,371	2,378	19	80°
13	Config 7l	2,048	2,165	3	80°
14	Config 8	2,683	2,528	17	40°
15	Config 8p	3,121	3,193	9	40°
16	Config 8l	2,467	2,105	21	40°
Place	Config	Moy Diff AV	Moy Diff AR	Rang	Angle
1	Config 1	2,372	1,981	4	20°
2	Config 2	3,951	2,712	18	50°
3	Config 3	3,949	2,73	17	30°
4	Config 4	2,256	1,68	6	90°
5	Config 4p	2,391	1,805	7	90°
6	Config 4l	2,141	1,669	5	90°
7	Config 5	2,387	1,616	12	70°
8	Config 6	2,818	1,813	15	60°
9	Config 6p	3,445	2,108	19	60°
10	Config 6l	2,525	1,862	9	60°
11	Config 7	2,099	1,487	8	80°
12	Config 7p	2,797	2,036	13	80°
13	Config 7l	2,627	1,818	11	80°
14	Config 8	3,316	2,256	16	40°
15	Config 8p	4,279	2,568	21	40°
16	Config 8l	2,78	2,037	10	40°

Annexe 4 : Mesures des différences dans le champ acoustique 3HP

Config	Moy Diff D	Moy Diff G	Rang	Angle
Config 1	2,262	2,149	12	30°
Config 1L	3,097	3,122	5	
Config 1p	3,163	3,041	14	
Config 2	1,887	1,949	8	40°
Config 2l	1,953	2,068	13	
Config 2p	2,141	1,669	11	
Config 3	1,882	1,975	10	50°
Config 3l	2,218	2,187	7	
Config 3p	2,636	2,646	4	
Config 4	2,104	2,105	1	60°
Config 4l	1,7	1,85	15	
Config 4p	2,371	2,378	19	
Config 5	2,048	2,165	3	72°
Config 5l	2,683	2,528	17	
Config 5p	3,121	3,193	9	
Config 5dl	2,467	2,105	21	
Config 5dp	3,173	3,355	18	
Config 6p	2,111	2,374	20	AV:72°/AR:10°
Config 7	2,195	2,199	2	AV:90°/AR:30°
Config 7l	2,597	2,447	16	
Config 7p	2,488	2,518	6	
Config	Moy Diff AV	Moy Diff AR	Rang	Angle
Config 1	2,3	1,704	13	30°
Config 1L	1,187	0,898	4	
Config 1p	2,759	2,403	5	
Config 2	2,499	1,76	17	40°
Config 2l	2,19	1,575	14	
Config 2p	3,007	2,146	20	
Config 3	2,206	1,479	16	50°
Config 3l	1,916	1,372	11	
Config 3p	2,699	1,895	19	
Config 4	2,381	1,669	15	60°
Config 4l	2,199	1,46	17	
Config 4p	2,364	1,499	21	
Config 5	2,398	1,871	9	72°
Config 5l	1,927	1,391	10	
Config 5p	2,076	1,645	8	
Config 5dl	1,858	1,311	12	
Config 5dp	1,882	1,503	7	
Config 6p	1,817	1,504	6	AV:72°/AR:10°
Config 7	1,598	1,353	3	AV:90°/AR:30°
Config 7l	1,478	1,24	2	
Config 7p	2,026	1,93	1	



Annexe 4 (Suite)

Place	Config	Moy Diff Av	Moy Diff Ar	Rang	Angle
1	Config 1	3,058	1,841	0	30°
2	Config 1p	4,506	2,774	0	
3	Config 1l	2,713	1,695	0	
4	Config 2	3,208	1,898	0	40°
5	Config 2p	4,459	2,724	0	
6	Config 2l	2,98	1,875	0	
7	Config 3	2,729	1,592	0	50°
8	Config 3p	3,538	2,26	0	
9	Config 3l	2,762	1,771	0	
10	Config 4	2,668	1,559	0	60°
11	Config 4p	3,929	2,379	0	
12	Config 4l	2,526	1,593	0	
13	Config 5	2,976	1,906	0	70°
14	Config 5p	3,195	1,84	0	
15	Config 5l	2,399	1,456	0	
16	Config 6	2,496	1,465	0	80°
17	Config 6p	3,519	2,153	0	
18	Config 6l	2,356	1,429	0	
19	Config 6p decalc	2,445	1,293	0	
20	Config 6l decalc	1,558	0,925	0	90°
21	Config 7	2,435	1,467	0	
22	Config 7p	3,103	1,811	0	
23	Config 7l	2,282	1,399	0	100°
24	Config 8	2,612	1,74	0	
25	Config 8p	2,924	1,905	0	
26	Config 8l	2,117	1,422	0	110°
27	Config 9	2,358	1,605	0	
28	Config 9p	2,712	1,845	0	
29	Config 9l	2,011	1,471	0	120°
30	Config 10	2,221	1,641	0	
31	Config 10p	2,863	2,073	0	
32	Config 10l	1,991	1,495	0	
33	Config 10p decalc	0,821	0,894	0	130°
34	Config 10l decalc	0,859	0,925	0	
35	Config 11	0,867	0,896	0	
36	Config 11p	0,887	1,342	38	140°
37	Config 11l	1,08	1,031	13	
38	Config 12	0,873	1,16	0	
39	Config 12p	1,116	1,562	0	150°
40	Config 12l	0,848	0,983	11	
41	Config 13	0,858	1,26	0	
42	Config 13p	1,193	1,766	0	
43	Config 13l	0,778	0,979	0	

Annexe 5 : Etude du champ acoustique avec 5HP

Place	Config	Moy Diff D	Moy Diff G	Rang	Angle
1	Config 1	2,416	2,123	41	30°
2	Config 1p	3,301	3,349	19	
3	Config 1l	2,209	1,89	42	
4	Config 2	2,366	2,329	17	40°
5	Config 2p	3,285	3,299	4	
6	Config 2l	2,539	1,982	43	
7	Config 3	2,062	1,97	13	50°
8	Config 3p	2,597	2,706	28	
9	Config 3l	2,194	1,968	35	
10	Config 4	1,905	1,987	19	60°
11	Config 4p	2,875	2,901	39	
12	Config 4l	1,992	1,877	14	
13	Config 5	2,261	2,275	27	70°
14	Config 5p	2,315	2,298	31	
15	Config 5l	1,826	1,81	25	
16	Config 6	1,858	1,843	8	80°
17	Config 6p	2,61	2,603	36	
18	Config 6l	1,804	1,763	1	
19	Config 6p decale	1,861	1,71	37	
20	Config 6l decale	1,215	1,13	4	90°
21	Config 7	1,816	1,813	7	
22	Config 7p	2,295	2,194	26	
23	Config 7l	1,752	1,723	24	100°
24	Config 8	1,998	2,084	22	
25	Config 8p	2,133	2,317	40	
26	Config 8l	1,642	1,727	30	110°
27	Config 9	1,804	1,902	8	
28	Config 9p	2,013	2,193	33	
29	Config 9l	1,617	1,732	16	120°
30	Config 10	1,81	1,854	2	
31	Config 10p	2,199	2,36	32	
32	Config 10l	1,632	1,697	3	
33	Config 10p decale	0,905	0,756	34	
34	Config 10l decale	0,955	0,816	22	130°
35	Config 11	0,747	0,942	29	
36	Config 11p	1,08	1,342	38	
37	Config 11l	0,967	0,952	19	140°
38	Config 12	1,039	0,984	18	
39	Config 12p	1,299	1,281	11	
40	Config 12l	0,947	0,886	15	150°
41	Config 13	1,029	1,073	12	
42	Config 13p	1,431	1,421	4	
43	Config 13l	0,889	0,878	10	

# ÉTUDE DE L'HOMOGENÉITÉ DU CHAMP ACOUSTIQUE EN AUDIOMÉTRIE TONALE ET VOCALE

Soutenue le 4 novembre 2016

Par Vincent DAVET et Richard GEORGES

## RÉSUMÉ

De nos jours, les audioprothésistes sont amenés à réaliser des mesures d'audition en champ libre de plus en plus précises. Seulement les installations techniques (haut-parleurs, traitements acoustiques) des locaux diffèrent d'un audioprothésiste à l'autre.

Le but de notre étude est de montrer l'influence du placement et du nombre de haut-parleurs sur l'homogénéité du champ acoustique, par une étude objective et subjective en audiométrie tonale et vocale en champ libre.

Pour cette étude nous avons utilisé une tête artificielle (KEMAR) et une antenne microphonique pour l'étude objective et des étudiants normo-entendant pour l'étude subjective.

Le protocole mis en place, pour les mesures et l'exposition des résultats, est également détaillé.

## **MOTS CLEFS**

Homogénéité

Normo-entendant

Kemar

Audiométrie

Intelligibilité

Dynamique

Schroöder