



جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Biomédical

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de

MASTER en GENIE BIOMEDICAL

Spécialité : Instrumentation Biomédicale

Présenté par : Sahli Yasmina

Exploration fonctionnelle de l'audition : Audiométrie étude et évaluation de cas pratiques

Soutenu le 21 juin 2018 devant le Jury

M.	HAMZA CHERIF	<i>MCCA</i>	Université de Tlemcen	Président
	Lotfi			
M.	BEREKSI REGUIG	<i>PROF</i>	Université de Tlemcen	Encadreur
	Fethi			
M.	TAOULI Sidi Ahmed	<i>MCCB</i>	Université de Tlemcen	Examineur

Année universitaire 2017-2018

Remerciement :

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui ma donné la capacité, la force et la patience d'accomplir ce travail.

*En second lieu je tiens, à remercier mon encadreur « **M. Bereksi Reguig Fethi** » pour sa patience, sa disponibilité et son soutien durant toute la période du travail et surtout pour ses judicieux conseils qu'ils ont attribués à alimenter ma réflexion et mener mon travail à bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.*

*Mes vifs remerciements vont également aux membres de jury « **M. Hamza Cherif Lotfi** » et « **M. Taouli Sidi Ahmed** » pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Je tiens à témoigner mes sincères remerciements à « **M^{elle}. Khiari Fatema** » médecin spécialiste en médecine de travail pour ses bonnes explications, ainsi que tout le personnel du laboratoire TOXICOMED pour leur collaboration.*

Et enfin j'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribués de prés ou de loin au bon déroulement de ce travail.

Dédicace :

Je dédie ce travail à :

"A mon cher père pour l'éducation qu'il m'a prodigué; avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'il a consenti à mon égard, pour m'inculper le sens du devoir depuis mon enfance".

"A ma chère mère pour tous les sacrifices qu'elle n'a cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte, pour ses prières et sa bénédiction qui m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce qu'elle mérite".

Puisse Dieu, le tout puissant, vous préserve et vous accorde santé, longue vie et bonheur.

"A mes chères sœurs, Amina et Lyna pour leurs soutiens et encouragement ; Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite".

"A ma chère tante pour ses bons conseils et son soutien moral durant toute la période de mon travail, en guise de reconnaissance je tiens à lui témoigner mes sincères remerciements pour tous ses efforts".

Ainsi que toute personne m'ayant aidé de près ou de loin dans ce travail laborieux et de longue haleine, trouve ici l'expression de mes vives reconnaissances et remerciement.

Sommaire

Remerciement :	2
Dédicace :	3
Listes des figures :	8
Liste des tableaux :	10
Introduction générale :	11
Chapitre 01 : <i>Anatomie et physiologie de l'oreille.</i>	14
Introduction :	15
A. Anatomie de l'oreille :	15
A.1. l'oreille externe :	15
1. L'auricule :	15
2. Le méat acoustique externe :	16
A.2. l'oreille moyenne :	16
1. La caisse du tympan :	16
2. La chaîne des osselets :	17
3. Les cavités mastoïdiennes :	18
4. La trompe d'Eustache :	18
A.3. l'oreille interne :	18
1. Le labyrinthe osseux	19
2. Le labyrinthe membraneux :	20
• Le conduit auditif interne :	20
B. Physiologie de l'oreille : L'OÏUE	21
1. Le son :	21
2. La fréquence :	21
3. L'amplitude :	21
4. Le timbre :	21
B.1. Rôle de l'oreille externe :	22
B.2. Rôle de l'oreille moyenne :	22
B.3. Rôle de l'oreille interne :	22
• Mécanisme de l'audition :	22
• Mécanisme de l'équilibration :	23
B.4. Les voix nerveuses auditives :	23
La surdité :	24
Degré de surdité :	24

Type de surdité :.....	25
• Surdité de transmission :	25
• Surdité de perception :.....	25
• Surdité mixte :	25
La maladie de Ménière : (syndrome de Ménière).....	25
Conclusion :	25
Chapitres 02 : <i>explorations fonctionnelles auditives - audiométrie</i>	26
Introduction :	27
Partie 01 : <i>les Explorations fonctionnelles auditives</i>	27
2.1.1. Les tests objectifs :	27
2.1.1.1. L'impédancemétrie :	27
• La tympanométrie :	28
• Etude du réflexe stapédien :	29
2.1.1.2. Les potentiels évoqués auditifs (PEA) :.....	30
• Résultat :.....	31
2.1.1.3. Les oto-émissions acoustiques (OAE) :.....	31
2.1.1.4. L'electrocochléographie :	32
2.1.2. Les tests subjectifs :.....	32
2.1.2.1. Acoumétrie :.....	32
• a/Acoumétrie phonique :	32
• b/ Acoumétrie instrumentale :	32
2.1.2.2. Test de Rinne:	33
Partie 02 : <i>Audiométrie</i>	35
2.2.1. Introduction :	35
2.2.2. Types d'examens Audiométriques :	35
Audiométrie tonale :.....	35
• Masquage : (assourdissement).....	37
• Types de surdité :	39
Audiométrie vocale :	40
2.2.3. Exemples d'Appareillage audiométrique :	43
2.2.4. Conclusion :	45
Chapitre 03 :	46
3.1. Introduction :	47
Partie 01 : <i>Présentation de l'outil de développement</i>	47

3.1.1.	Qu'est ce que « LabView » ?	47
3.1.1.1.	La face –avant :	48
•	Exemple :	48
3.1.1.2.	Le diagramme :	48
•	Les terminaux :	49
•	Les fils de liaisons :	50
•	Les structures :	50
•	Palette des commandes :	51
•	Palette des fonctions :	52
•	Fenêtre d'aide contextuelle :	52
Partie 02 :	<i>Implémentation logicielle de l'audiomètre virtuel</i>	54
3.2.1.	Introduction :	54
3.2.2.	Bloc de génération des sons audibles.....	55
3.2.2.1.	Génération du signal sinusoïdal et masquage:	55
3.2.2.2.	Circuit de génération de sons audibles :	56
1.	Sound output configure :	56
2.	«Sound output write », « Sound output set volume » et «Sound output clear »:.....	57
3.2.2.3.	Conversion en décibels :	57
3.2.3.	Circuit de signalisation :	58
3.2.4.	Mesures et calibrage :	61
3.2.4.1.	Mesures effectuée par l'audiomètre virtuel :	61
3.2.4.2.	Mesures effectuées par « Sibel Med AC50 » :	62
3.2.4.3.	Calcule des valeurs utilisées par l'audiomètre :	64
3.2.5.	Présentation de l'interface graphique de l'audiomètre virtuel et procédure de test :	65
	La face-avant :	65
3.2.6.	Procédure du test :	66
3.2.7.	Mesures effectuées par l'audiomètre virtuel :	67
	Test 1 :	67
	Test 2 :	68
	Test 3 :	69
	Test 4 : avec masquage	70
	Test 5 : avec masquage	71
3.2.8.	Conclusion :	71
	Conclusion générale :	72
	Référence :	73

Résumé :..... 76
Abstract: 76
التلخيص:..... 76

Listes des figures :

Figure 1.1: Coupe frontale de l'oreille.	15
Figure 1.2: L'auricule de l'oreille.	16
Figure1.3: Tympan normal.	17
Figure1.4:Schéma des osselets.....	17
Figure1.5: La mastoïde.	18
Figure1.6: organisation de l'oreille interne.....	18
Figure1.7: Labyrinthe osseux.....	19
Figure 1.8: Rapport du labyrinthe osseux.....	20
Figure 1.9: Degré de surdité.	24
Figure 2.1: Tympanogramme normale.	28
Figure 2.2: Diff�rent type de tympanogramme.	29
Figure 2.3: synapse de la voie auditive.	31
Figure 2.4 : Exemple d'un enregistrement PEA.	31
Figure2.5: Courbe OEA.....	32
Figure 2.6: Electrocochl�ogramme pour un sujet normal (a) d'un sujet malade (b).....	32
Figure 2.7: Test de Weber.	33
Figure 2.8: Transmission aérienne et osseuse à travers diapason.....	34
Figure 2.9:(a) Casque utilisé en conduction aérienne, (b) Vibrateur osseux.....	37
Figure 2.10: Description anatomique de la conduction aérienne et osseuse.....	38
Figure 2.11 : Audiogramme perte auditif en fonction de l'âge.....	39
Figure 2.12 Symboles pour l'annotation sur un audiogramme.....	40
Figure 2.13: Surdité de transmission.....	40
Figure2.14: Surdité de perception.....	40
Figure 2.15: Surdité mixte.....	41
Figure 2.16: courbe de sujet normo-entendant et mal entendant.....	41
Figure 2.17 : Comparaison entre un sujet normal et mal entendant.....	42
Figure 2.18: Audiomètre SIBELMED AC 50.....	43
Figure 2.19: Cabine insonorisé.....	44
Figure 2.20: Audiomètre MADSEN ASTERA.....	44
Figure 2.21 : Audiomètre MADSEN ASTERA.....	45
Figure 2.22 : Audimètre ambulateur.....	45
Figure 3.1: les deux fenêtres utilisées pour la réalisation d'une application sous « LabView ».....	56
Figure 3.2: Implémentation de la face avant.....	48
Figure 2.3: Implémentation du code graphique.....	49
Figure 3.4: Résultat de l'implémentation.....	50
Figure 3.5: exemple de l'implémentation de la multiplication de deux chiffres (a) La face – avant, (b) le diagramme, (c) l'affichage du résultat.....	50
Figure 3.6:Les Structures sous LabView.....	51
Figure 3.7: (a) Palette de commandes, Sous-Palette de commandes "Graph".....	52

Figure 3.8:(a) Palette de fonctions, (b) Sous palette de fonction numérique.....	53
Figure 3.9: Fenêtre d'aide contextuelle.....	54
Figure 3.10 : organigramme de l'approche proposée pour la réalisation de l'audiomètre.....	55
Figure 3.11: (a) VI "simulate signal" (b) configuration du bloc « simulate signal ».....	56
Figure 3.12: (a) « sound output configure » (b) configuration réalisée.....	57
Figure 3.13: (a) « sound output write » (b) “sound output set volume”. (c) « <i>Sound output clear</i> ».....	57
Figure3.14: Circuit de la conversion en décibels.....	58
Figure 3.15: circuit de signalisation.....	59
Figure 3.16 : (a) la configuration du VI "amplitude and level measurements" (b) configuration du "prompt user for input" (c) Affichage du message lors de la signalisation.....	60
Figure3.17 : case structure.....	61
Figure 3.18 : Circuit global de la réalisation logicielle de l'audiomètre virtuel.....	62
Figure 3.19 : circuit de conversion en décibel.....	62
Figure3.20: l'interface utilisateur de l'audiomètre virtuel.....	63
Figure 3.21 : Perception du son par le sujet.....	64
Figure 3.22 : procédure de test audiométrique en utilisant l'audiomètre Virtuel.....	64
Figure3.23: Résultat su test N° 1 (a) audiomètre médicale (b) audiomètre virtuel.....	65
Figure 3.24: Résultat su test N° 2 (a) audiomètre médicale (b) audiomètre virtuel.....	66
Figure3.25: Résultat su test N° 3 (a) audiomètre médicale (b) audiomètre virtuel.....	67
Figure 3.26: Résultat su test N° 4 (a) audiomètre médicale (b) audiomètre virtuel.....	68
Figure 3.27: Résultat su test N° 5 (a) audiomètre médicale (b) audiomètre virtuel.....	69

Liste des tableaux :

Tableau 2.1: Test de Weber et Rinne.....	35
Tableau 2.2 : Différents indicateurs audiométriques.....	43
Tableau 2.3: Liste des mots utilisés en audiométrie vocal.....	63
Tableau 3.1: Résultats des tests effectués par l'audiomètre virtuel.....	64
Tableau 3.2: Résultats des tests effectués par l'audiomètre médical.....	65
Tableau 2.3: les valeurs moyennes IO moy des IO obtenus à travers les différents tests.....	66
Tableau 3.4: les valeurs utilisé par l'audiomètre virtuel.....	66

Introduction générale :

L'audiométrie est un examen fondamental pour la mesure de l'état fonctionnel des voies auditives par le biais d'un appareil compact appelé audiomètre. Il permet aux médecins d'évaluer le seuil d'audition des patients dans le but de dépister des surdités, d'en apprécier l'importance et d'en chercher la cause qui peut surgir généralement d'un dysfonctionnement au niveau des cavités de l'oreille ou une perte d'audition qui est due à l'âge.

L'audiomètre est un dispositif qui permet de générer des sons de fréquences et intensités variables qui sont transmises à l'oreille du sujet par le biais d'un casque d'écoute. Les fréquences générées varient de 125 Hz à 8kHz, intervalle qualifié comme étant le meilleur pour l'appréciation du seuil de l'audition, de même pour l'intensité qui varie de 0 à 120 dB. De nos jours voir l'évolution progressive de la technologie et la génération de connaissances qui contribuent au développement et l'évolution des processus médicaux, beaucoup de travaux en audiométrie ont été réalisés permettant de rendre les audiomètres plus performants et moins chers.

Cependant indépendamment des dispositifs commercialisés on retrouve dans la littérature du domaine bien d'autres qui sont développés, analysés et évalués. A titre d'exemple, le système proposé par **Mehmet Cem Catalbas** et **Hasan Guler** [1] qui ont proposé une conception d'un logiciel qui permet d'effectuer des mesures audiométriques en se basant sur LABVIEW. La génération de sons nécessaire aux tests audiométriques est déterminée par un décibel-mètre avec un système de calibration. LABVIEW est utilisé pour le développement et l'implémentation d'une interface graphique (GUI) exploitée pour la réalisation des tests audiométriques. Les auteurs précisent que l'opérateur peut facilement et sans aucune difficulté configurer les intensités et fréquences nécessaires ainsi que l'amplitude de bruit blanc pour le masquage. Un système binaire est employé dans cette étude pour concéder à la sélection du canal de sons purs, et canal bruit blanc.

Les essais pratiques réalisés sur cet audiomètre virtuel ont donné des résultats fiables, corrects, et conformes aux normes médicales.

De même, plusieurs autres travaux ont été réalisés concernant l'exploration auditive, comme : la conception et l'implémentation d'un système d'audiomètre capable de surveiller l'activité neuronale relative à l'audition du patient proposé par **A. Soto Otálora et al** [2]. A travers ce travail ils ont pu évaluer le seuil d'audition d'un sujet sans sa coopération, juste à travers les signaux neuronaux relatifs à l'audition, Ceci peut être obtenu par l'utilisation d'un électroencéphalographe pour la détection de l'activité neuronale, le logiciel LABVIEW pour la réalisation de l'interface de ce système, un audiomètre pour la génération de sons de stimulation et un microcontrôleur ATMEL pour l'enregistrement et le traitement des signaux.

Plusieurs tests ont été employés, pour pouvoir effectuer une calibration du signal EEG avec le moment où le sujet apercevait le son, pour pouvoir ensuite réaliser facilement les tests.

Les résultats de tests sont visualisés à travers l'interface LABVIEW.

Cette réalisation permet de rendre les tests audiométriques objectifs c'est-à-dire qu'ils ne dépendent pas de la coopération de sujet, et la possibilité de produire des résultats exploitables, corrects et fiables.

Un autre dispositif proposé par **Fayçal.Ykhlef et al** [3]. Il est basé sur l'utilisation des périphériques internes du PC (carte son). Il produit de manière fidèle des sons de stimulations (sons purs et bruits de masquage à fréquences et intensités ajustables) utilisés pour la mesure de la conduction aérienne et la conduction osseuse de l'audition d'un patient.

Trois solutions conceptuelles de génération des sons ont été proposées au niveau de ce travail.

- 1- Enregistrement des sons générés par un audiomètre classique à travers un microphone de bonne qualité.
- 2- Utilisation du port de la ligne d'entrée de la carte son afin d'éviter la perte de son causée par le microphone.
- 3- Réalisation de mesure acoustique par des sonomètres pour minimiser au maximum les pertes d'acquisition.

Ce logiciel permet de tracer, sauvegarder et imprimer les audiogrammes et les rapports des médecins obtenus à la suite des tests audiométriques. Il permet aussi la gestion des données des patients et des opérateurs à travers une interface simple à utiliser au niveau du service ORL de l'hôpital. Les audiogrammes sont comparés avec ceux obtenus par des audiomètres classiques AC33 et AC50. Les résultats ont été annotés et évalués par des médecins spécialistes.

De même *Kang-Ho Lee et al* [4] ont proposé des travaux sur les audiomètres, ils ont développé un audiomètre pour des mesures de la conduction aérienne,

Les sons nécessaires sont générés par un générateur de son à fréquences variable selon les normes et réglementations médicales internationales, les essais et tests effectués ont permis de valider cet appareil comme conforme et fiable et peut être commercialisé et utilisé.

Aussi et compte tenu que le dépistage auditif chez les enfants est très important car une perte d'audition peut facilement se répercuter sur son développement pour cela des systèmes audiométriques sont conçus pour le dépistage auditif chez les enfants plusieurs autres travaux se sont intéressés à la conception d'audiomètres en pédiatrie. A titre d'exemple ; celui proposé par *Wen-Huei Liao et al* [5] université en Chine. Le dispositif est basé sur un ordinateur, une carte son extérieure (sound blaster) qui permet de générer les sons nécessaires aux tests et un casque pour la transmission de sons à l'enfant. La carte est équipée d'un câble USB pour être connectée à l'ordinateur ainsi qu'une entrée pour connecter le casque et le bouton pour indiquer l'écoute du son. La procédure du test est la même qu'un audiomètre classique. L'interface du dispositif est réalisée en exploitant le logiciel LabView.

Une succession de tests a été effectuée sur deux groupes d'enfants afin d'évaluer le dispositif réalisé, avec et sans cabine insonorisée. Les résultats obtenus sans cabine sont comparables à ceux réalisés dans la cabine insonorisée ceci est dit que le dispositif est conforme, fiable et peut facilement être exploitable pour la surveillance du changement progressif de l'audition chez les enfants

L'audiomètre est utilisé aussi pour l'examen du seuil d'audition des patients atteints de cancer et qui suivent un traitement chimique. L'exposition permanente à des médicaments peut avoir des répercussions sur l'oreille moyenne et avoir par conséquent une perte d'audition. *Jacobs PG et al* [6] ont développé un audiomètre qui permet un monitoring d'audition haute fréquence pour détecter la dose de médicament qui affecte l'oreille. Une fois cette dose est détectée le médecin peut ajuster la dose de médicament injecté ou la changer avec d'autre moins toxique pour ne pas affecter l'oreille.

C'est un dispositif portable et simple d'utilisation qui peut être utilisé même à domicile sans l'intervention d'un opérateur avant la période de chimiothérapie, il utilise le même principe que les audiomètres classiques ; ce système a été évalué sur des sujets dans des cabines insonorisées et dans une salle bruyante d'hôpital. Les résultats indiquent qu'il est conforme aux normes et peut être facilement utilisé même par des patients, il est doté d'un système capable d'informer un professionnel de santé à distance dans le cas où une modification importante dans l'audition du patient se produirait.

Le développement de la technologie et de l'informatique a permis de concevoir et d'implémenter de nouveaux types d'audiomètres ; on trouve les audiomètres portatifs à écran tactile et les télé-audiomètres.

Les audiomètres portatifs à écran tactile [7]. Sont récemment développés, ils sont très performants et offrent une manipulation très facile des tests tonales et vocales avec des fréquences et intensités conformes aux normes médicales, ils permettent aussi le transfert d'informations sur pc par Bluetooth ou par port USB.

Les télé-audiomètres sur PC [8] ; permettent de réaliser des tests audiométriques à distances. Ils sont basés sur la carte son du pc avec un convertisseur analogique digital pour générer les sons de stimulation. Le système a été évalué en comparaison avec un audiomètre sur pc pour 37 sujets. Les seuils d'audition retrouvés présentent une erreur de 2.3 dB seulement, ce qui permet l'usage de ce système dans les endroits qui ont accès à internet.

En vue de ce qui précède et dans le but de décrire et d'étudier de manière didactique les principes de l'audiométrie, on se propose dans ce projet de fin d'étude de réaliser un audiomètre virtuel sur micro-ordinateur en exploitant sa carte son et le logiciel « LabView ». Cette réalisation est calibrée en exploitant le système commercialisé classique *SIBELMED AC50* avec la cabine insonorisée disponibles au sein du laboratoire de recherche *TOXICOMED*.

Ce projet de fin d'étude est organisé en trois chapitres selon la structure mentionnée ci-dessous :

En Chapitre 01 une étude détaillée de l'anatomie et la physiologie de l'oreille est présentée.

Le Chapitre 02 présente en premier lieu les différentes techniques d'explorations fonctionnelles et en second lieu une étude détaillée sur les techniques audiométriques.

Le Chapitre 03 est consacré respectivement à la présentation du logiciel « LabView », l'implémentation logicielle de l'audiomètre virtuel et les mesures effectuées pour le calibrage et leurs évaluations.

En dernier lieu une conclusion générale est présentée.

Chapitre 01 : *Anatomie et physiologie de l'oreille.*

Introduction :

L'oreille est un organe neurosensorielle pair et symétrique située dans l'os du crâne (le rocher) placé sur la partie latérale du crâne, assurant la fonction de l'audition ainsi que l'équilibre du corps grâce à sa structure anatomique.

L'oreille comprend trois parties anatomiques distinctes (structure de l'oreille). (Voir figure 1.1)

- L'oreille externe.
- L'oreille moyenne.
- L'oreille interne.

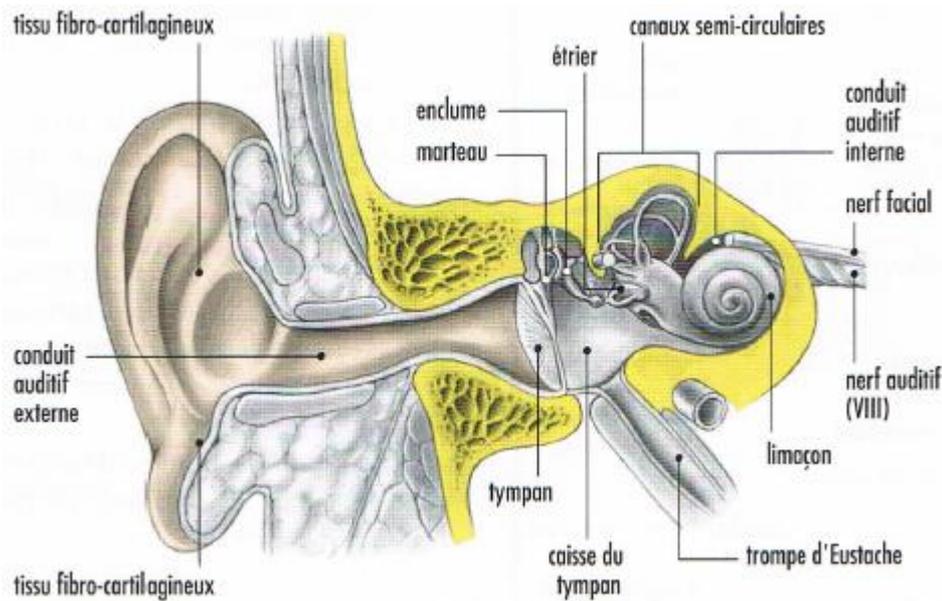


Figure 1.1 : Coupe frontale de l'oreille. [11]

A. Anatomie de l'oreille :

A.1. l'oreille externe :

L'oreille externe est constituée de l'auricule (pavillon) et du méat acoustique externe (conduit auditive externe).

1. L'auricule :

(Du latin *auricula*) ou pavillon de l'oreille est placée latéralement sur le crâne, elle est formée de reliefs et de creux d'origine cartilagineuse. La figure 1.2 ci-dessous illustre les différents composants du pavillon de l'oreille :

- En périphérie un bourrelet, appelé aussi l'hélix, s'élargissant en bas pour former le lobule de l'oreille.
- Un relief concentrique à l'hélix, l'antihélix.
- La conque, où s'ouvre le méat acoustique externe ; en bordure de cette dernière on trouve le tragus en avant et l'antitragus en arrière.

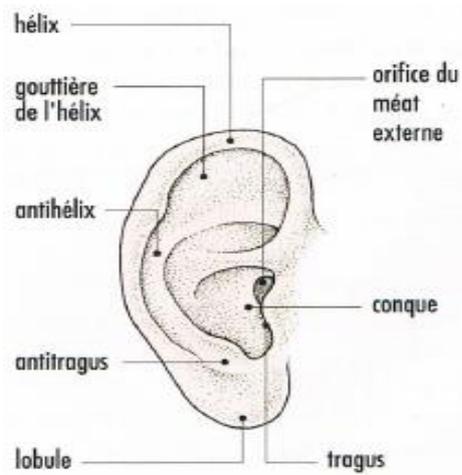


Figure 1.2: L'auricule de l'oreille. [11]

2. Le méat acoustique externe :

(Du latin *meatus acusticus externus*) ou conduit auditif externe débute à la conque, située entre l'articulation temporo-maxillaire et la région mastoïdienne et qui s'étend jusqu'au tympan. Il mesure environ 3 cm. Il est constitué dans sa partie externe d'un tissu fibro-cartilagineux et dans sa partie interne d'un tissu osseux.

A.2. l'oreille moyenne :

L'oreille moyenne est composée de trois parties communiquant les unes avec les autres :

- La caisse du tympan ;
- La chaîne des osselets et cavités mastoïdiennes ;
- La trompe d'Eustache.

1. La caisse du tympan :

(Du latin *cavum tympani*), creusée dans l'os du rocher elle correspond à l'espace qui se trouve entre le méat acoustique externe et l'oreille interne, c'est-à-dire elle sépare l'oreille externe de l'oreille moyenne elle est limitée par la membrane du tympan qui constitue sa paroi externe.

La caisse du tympan est une membrane dont l'épaisseur est très mince (0.1 mm), fibreuse, et recouverte de muqueuse sur la face interne et une couche de peau très fine sur la face externe.

Elle est constituée de trois parois :

- La paroi interne osseuse, formant le rocher. Cette paroi présente deux orifices : **la fenêtre ronde** et **la fenêtre ovale**, qui communiquent avec l'oreille interne ;
- La paroi antérieure, également osseuse, où s'ouvre l'orifice de la trompe d'Eustache.
- La paroi supérieure permet de séparer la caisse du tympan de la cavité crânienne. (Voir figure 1.3)

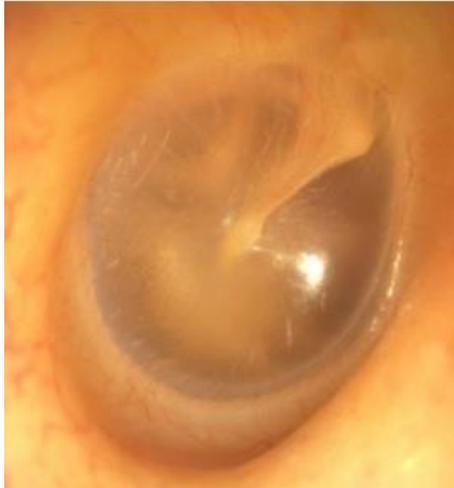


Figure1.3: Tympan normal. [9]

2. La chaîne des osselets :

(Du latin *ossicula auditus*) (Voir figure 1.4); est composée de trois os maintenus entre elle par des articulations et des ligaments, on trouve :

- **Le marteau (*malleus*)** : il prend son appellation de sa forme de marteau, il mesure environ 7 à 9 mm de longueur c'est le plus long osselet et le seul visible en regardant dans l'oreille car il traverse la chaîne du tympan par sa longue apophyse (la partie qui permet aux ligaments de se fixer aux os), la tête du marteau s'articule au niveau du corps du deuxième osselet (l'**enclume**).

- **L'étrier (*stapes*)** : appelé ainsi en fonction de sa forme. L'étrier se compose d'une tête en contact avec l'extrémité de la longue apophyse de l'enclume (appelée apophyse lenticulaire), de deux branches et d'une base de forme sphérico-ovale, nommée platine.

- **L'enclume (*incus*)** : appelée ainsi en raison de sa forme. L'enclume est un peu plus courte et plus lourde que le marteau. Elle possède une longue apophyse en contact avec l'incus. Elle transmet les mouvements au marteau et à l'étrier par le muscle du marteau et le muscle de l'étrier. [9]

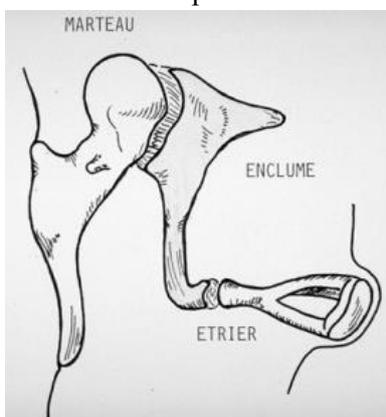


Figure1.4:Schéma des osselets. [9]

3. **Les cavités mastoïdiennes** : (voir figure 1.5) font partie des cavités annexes de l'oreille moyenne. Elles se trouvent dans l'os temporal, dont elles occupent deux parties différentes : en haut, l'écaille de l'os temporal et en bas le rocher. Elles sont en nombre variables mais celle qui est la plus volumineuse, et dont la présence est constante c'est l'antre mastoïdienne.

4. **La trompe d'Eustache** : c'est la structure qui permet la communication entre le tympan et le pharynx (l'arrière-nez), nommé ainsi en l'honneur du médecin italien « Bartolomeo Eustachi », qui la découvre en 1543. Elle est constituée de tissu osseux en arrière et de tissu fibro-cartilagineux en avant. Elle s'ouvre à chaque mouvement de déglutition (l'action d'avalier) ou de bâillement. Sa fonction est d'équilibrer les pressions grâce au passage de l'air dans la trompe d'Eustache et donc dans l'oreille moyenne au cours de chaque mouvement de déglutition ou de bâillement.

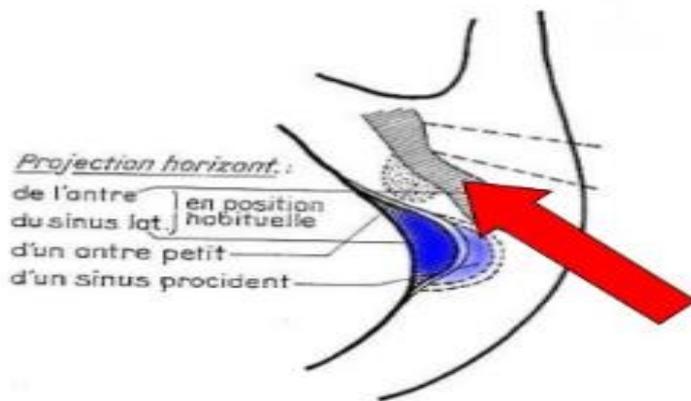


Figure1.5: La mastoïde. [15]

A.3. l'oreille interne :

L'oreille interne ou Labyrinthe est la partie noble du système auditive, située à l'intérieur de la caisse du tympan comme le montre la figure 1.6 ci-dessous:

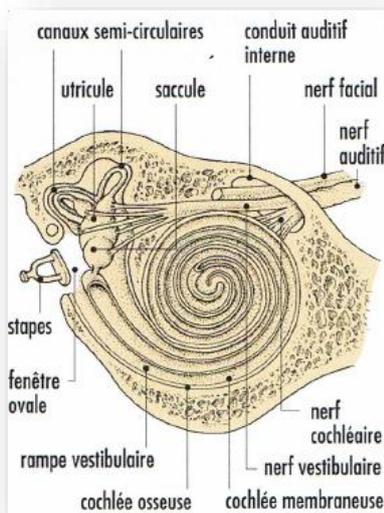


Figure1.6: organisation de l'oreille interne. [11]

Elle se compose de trois parties qui à leurs tours se divisent en plusieurs structures, on distingue :

- Le labyrinthe osseux ;
- Le labyrinthe membraneux ;
- Le conduit auditif interne.

Le labyrinthe osseux et le labyrinthe membraneux sont séparés par « l'espace périlymphatique » qui est rempli d'un liquide appelée « la périlymphe ».

1. Le labyrinthe osseux (voir figure 1.7): il est situé à l'intérieur de l'os du rocher et se divise en trois parties :

- Le vestibule ;
- Les canaux semi-circulaires ;
- La cochlée.

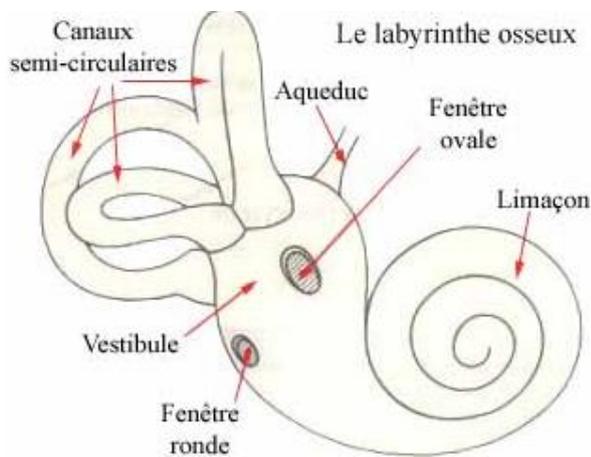


Figure1.7: Labyrinthe osseux. [16]

- **Le vestibule :** Cette partie permet de communiquer avec la caisse du tympan par l'orifice situé sur sa paroi externe appelé la fenêtre « la fenêtre ovale ». Cette cavité contient deux poches membraneuses : l'utricule et le saccule ; et deux parois distinctes :
Une paroi inférieure qui donne naissance à la lame spirale osseuse qui se prolonge dans la cochlée osseuse.
Une paroi interne qui représente le fond du conduit auditif interne.
- **Les canaux semi-circulaires osseux :** Ils se divisent en trois canaux perpendiculaires entre eux : le conduit semi-circulaire antérieur, le conduit semi-circulaire postérieur, et le conduit semi-circulaire latéral ; ils sont issu du vestibule, communiquent avec l'utricule et contiennent les conduit semi-circulaire membraneux. *Figure 1.6 et 1.7.*
- **La cochlée osseuse :** Ou « limaçon osseux », est la troisième partie du labyrinthe osseux qui a la forme d'une spirale osseuse bien entourée sur elle-même d'environ deux tour et demi de spires. A l'intérieure, se trouve la cochlée membraneuse.

2. Le labyrinthe membraneux : Il se situe à l'intérieure du labyrinthe osseux et se divisant ainsi en trois partie membraneuses :

- Un vestibule ;
- Trois canaux semi-circulaires ;
- La cochlée.

Le labyrinthe membraneux est rempli d'un liquide aqueux appelé « l'endolymphe ».

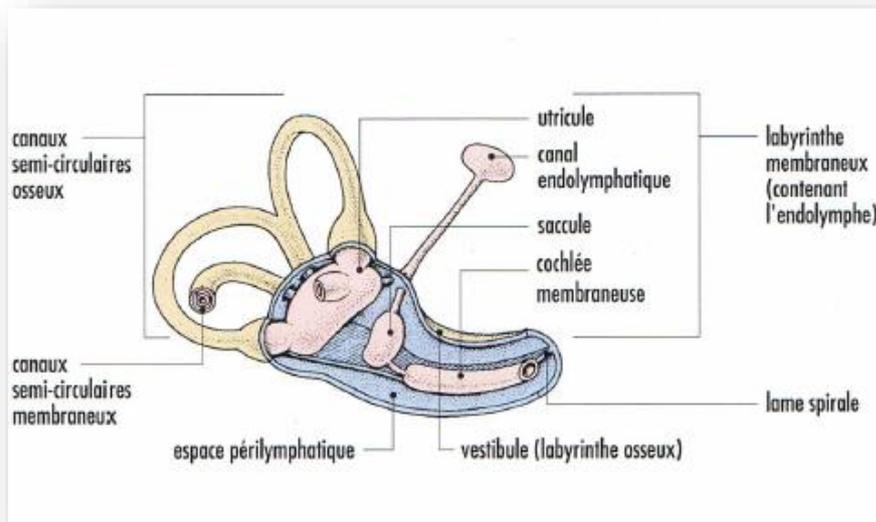


Figure 1.8: Rapport du labyrinthe osseux. [11]

- **Le vestibule :** il est composé en deux parties : l'utricule sur lesquels les canaux semi-circulaires sont implantés et le saccule qui est reliée à l'utricule par le canal endolymphatique.
- **Les canaux semi-circulaires membraneux :** Ils sont identiques aux canaux semi-circulaires osseux décrits auparavant.
- **La cochlée membraneuse :** Appelé aussi « canal cochléaire », est reliée au saccule par un canal fin.

La paroi du labyrinthe membraneux présente des épaissements appelés :

- « crêtes acoustiques » dans les canaux semi-circulaires ;
- « taches acoustiques » dans le vestibule ;
- « organe de corti » dans le limaçon.

Les fibres du nerf vestibulaire prennent naissance dans les crêtes et les tâches acoustiques et du nerf cochléaire dans l'organe de corti.

- **Le conduit auditif interne :**

L'oreille interne communique avec l'intérieur du crâne par le conduit auditif interne, qui est localisé en profondeur des canaux semi-circulaires et contient le nerf facial et le nerf auditif séparés en quatre branches : le premier segment du nerf facial, le nerf cochléaire et les deux nerfs vestibulaires inférieur et supérieur. Les trois derniers forment le nerf auditif. [10]

B. Physiologie de l'oreille : L'OÏUE

Les structures de l'oreille décrites précédemment permettent d'assurer les deux fonctions primordiales de l'oreille : L'audition et l'équilibration. C'est-à-dire que chaque structure spécifique assure une des fonctions de l'oreille.

Mais avant d'élaborer ceci, certaines terminologies s'imposent :

1. Le son :

Est le mouvement des molécules d'air suite à une perturbation du milieu aérien qui nous entourent ce qui permet de créer de rapides fluctuations de la pression qui se propagent sous forme d'ondes ou vibrations aériennes. Il est caractérisé par la fréquence qui est exprimée en Hz et le niveau (intensité) en dB. Une fois le son est capté par l'oreille il stimule le système auditif en induisant des sensations auditives.

2. La fréquence :

Elle correspond au nombre d'ondes sonores qui passent en un point par unité de temps [11]. La fréquence qui correspond aux vibrations sonores discernées par le système auditif est comprise entre 20 et 20.000 Hz. Plus un son est aigu, plus la fréquence est élevée. La meilleure acuité auditive se place entre 1000 Hz et 4000 Hz, tandis que les fréquences supérieures à 20.000 Hz et inférieures à 20 Hz, ultrasons ou infrasons ne sont pas perçues par l'oreille humaine. Un son peut comporter qu'une seule fréquence, comme il peut être composé d'un ensemble de fréquences qui constitue un spectre.

3. L'amplitude :

Elle représente la deuxième caractéristique importante du son, elle se mesure en décibel. Plus un son est puissant, plus son amplitude est grande. L'intervalle des décibels qui correspond au seuil d'audition humain se situe entre 0 dB et 120 dB ;

- Les amplitudes inférieures à 30 dB ne sont pas discernées par le système auditif car elles sont masquées par des sons plus forts.
- Les amplitudes supérieures à 90 dB se trouvent généralement dans le domaine professionnel (industrie, armée, artisanat...) ; ou dans les activités de loisirs : chasse, musique, sports mécanique (tous sports nécessitant l'emploi de véhicule motorisé comme les compétitions d'automobiles, de motocyclistes ou aéronautique).
- Les amplitudes en dessus de 120 dB sont extrêmement dangereuses pour l'oreille, et n'existent que dans le domaine industriel.

4. Le timbre :

Le timbre d'un son permet de différencier plusieurs instruments qui émettent la même note. L'oreille humaine est capable de discerner environ 400.000 sons différents, et d'une différence de niveau de 1 dB et à chaque fois que le niveau croît de 10 dB le son est perçu deux fois plus fort.

Comme cela était décrit précédemment, la structure de l'oreille est divisée en trois parties. Les deux premières ; l'oreille externe et l'oreille moyenne représentent les organes de transmission. Elles transmettent les ondes sonores de l'extérieur jusqu'à l'oreille interne tandis que la structure complexe de la troisième partie de l'oreille qui est l'oreille interne lui permet d'assurer l'audition et l'équilibration grâce aux deux organes sensoriels suivants :

- L'organe de Corti qui contient des cellules auditives ; assure l'audition.
- Les cellules sensorielles situées dans la partie vestibulaire du labyrinthe membraneux ; assure l'équilibration.

De ce fait ils sont nommés respectivement organe d'audition et organe d'équilibration.

Dans ce qui suit, on citera en détail le rôle de chaque organe pour comprendre le mécanisme de l'audition et de l'équilibration dont le corps humain en a besoin.

B.1. Rôle de l'oreille externe :

Le pavillon de l'oreille externe capte les vibrations sonores et les oriente vers l'intérieur du méat acoustique externe jusqu'à la caisse du tympan, ce dernier se met à vibrer pour assurer une transmission du son ; sa sensibilité aux variations de la fréquence des ondes sonores se traduit par une vibration lente pour les vibrations de basses fréquences (sons graves) et par une vibration rapide pour les hautes fréquences (sons aigus).

La condition pour laquelle le tympan vibre correctement en assurant une transmission correcte est que la pression de l'oreille externe et celle de la caisse du tympan doivent être identiques ; cette condition est assurée par la trompe d'Eustache située au niveau de l'arrière-nez qui met en relation le tympan et le pharynx.

B.2. Rôle de l'oreille moyenne :

L'oreille moyenne assure la transmission des vibrations du tympan à travers la caisse du tympan qui est une cavité aérienne vers les cavités liquidiennes de l'oreille interne, cette transmission est réalisée grâce à l'amplification de l'énergie de l'onde sonore issue de la membrane tympanique. L'amplification est effectuée par deux phénomènes :

- L'articulation mécanique de la chaîne des osselets.
- La différence de surface qui existe entre la membrane tympanique et la fenêtre ovale qui est située au niveau de l'insertion du stapes (dernier osselet de la chaîne).

L'effet cumulatif de ces deux mécanismes amène à une amplification d'environ 20 fois l'énergie sonore de départ. Pour éviter les risques de lésions de l'oreille interne dont la structure est fragile lorsque les sons sont trop importants, l'oreille moyenne possède un réflexe de protection qui s'effectue grâce à la contraction de deux muscles reliés au muscle tenseur du tympan qui sont : le muscle du marteau et le muscle du stapes (étrier). Ces derniers en se contractant permettent de rigidifier en quelque sorte le système de transmission de la chaîne des osselets autrement dit amortir les vibrations sonores. Il est dit qu'on observe deux réflexes de défense contre un volume sonore trop élevé :

- Le réflexe acoustique (contraction du muscle du marteau).
- Le réflexe stapédien (contraction du muscle du stapes). Le réflexe stapédien est le plus efficace.

Les lésions qui peuvent survenir à la cochlée sont dues aux bruits très violents qui surviennent brutalement (type explosion) où le réflexe est dépassé.

B.3. Rôle de l'oreille interne :

La structure complexe de l'oreille interne lui permet d'assurer les deux types de mécanismes :

- **Mécanisme de l'audition :**

Les vibrations sonores issues du tympan sont transmises au liquide périlymphatique de l'oreille interne par la fenêtre ovale qui vibre à son tour ; puis vers la cochlée en passant par la rampe tympanique et la fenêtre ronde qui se déforme suite aux vibrations. La plus grande partie de l'énergie passe de la rampe vestibulaire

au canal cochléaire à partir de la membrane basilaire où se trouvent les cellules auditives (cellules ciliées). Suite à la vibration, ces cellules vont se déplacer, cet effet va leur permettre de se courber en créant des mouvements qui produisent des influx nerveux. Plus l'intensité du son est élevée plus les mouvements de la membrane basilaire sont importants, plus le nombre de cellules auditives sollicitées est important.

La transmission des sons aigu ou grave est liée au mode de vibrations de la membrane basilaire ;

- Pour un son aigu : les zones de vibration de la membrane basilaire sont étroites et proche de la fenêtre ovale.
- Pour un son grave : la membrane basilaire vibre sur des distances plus large et étendue.

Le déplacement des cellules auditives permet d'entraîner la libération d'un neurotransmetteur qui stimule les fibres nerveuses du ganglion de Corti (l'organe de l'audition) ce qui va produire les influx nerveux.

• **Mécanisme de l'équilibration :**

La deuxième fonction de l'oreille interne qui est l'équilibration, est assurée par les structures du labyrinthe membraneux : les canaux semi-circulaires, les saccules et les utricules (ces derniers se trouvent au niveau du vestibule), et cela grâce à leurs parties sensorielles : macules ; pour les saccules et les utricules, crêtes ampullaires ; pour les canaux semi-circulaires.

Les utricules et les saccules interviennent lors des accélérations linéaires de la tête ainsi que les différentes positions que la tête adopte. Ceci est obtenu grâce aux otolithes contenus dans la membrane gélatineuse qui recouvre les cellules ciliées maculaires en exerçant une pression à chaque accélération en ligne droite ou changement de position de la tête ; cette pression varie selon les différentes accélérations linéaires de la tête. Une fois les variations de pression sont captées par les cellules des macules elles seront transmises aux fibres nerveuses auxquelles elles sont liées, les neurones seront ainsi stimulés et l'influx nerveux est alors envoyé au nerf vestibulaire.

Les canaux semi-circulaires interviennent lors des accélérations angulaires de la tête et au maintien de l'équilibre, grâce à leur organisation en trois plans perpendiculaires les uns par rapport aux autres qui déterminent trois axes de mouvements :

- Mouvement de la tête de bas en haut et de haut en bas (acquiescement).
- Mouvement de la tête de gauche à droite de droite à gauche (négation).
- Mouvement de la tête latéral c'est-à-dire oreille vers l'épaule (hochement).

Chaque mouvement permet de créer une accélération ou une décélération angulaire au niveau de l'endolymphe contenue dans les canaux semi-circulaires (mouvement liquidien) qui est détectée par les cellules ciliées des crêtes ampullaires qui seront stimulées et envois ensuite l'influx nerveux dans le nerf vestibulaire.

B.4. Les voies nerveuses auditives :

Elles représentent toutes les voies nerveuses qui permettent d'assurer l'audition ou l'équilibration c'est-à-dire le passage de l'influx nerveux vers le cerveau. Cet influx passe du nerf cochléaire qui réunit les axones des fibres nerveuses qui sont en relation avec les cellules auditives (cellules ciliées) ; vers le nerf vestibulaire pour assurer l'équilibration ou vers le nerf auditif pour l'audition.

Ensuite les informations auditives contenues dans le nerf sont traitées sur plusieurs étapes pour atteindre le cortex auditif primaire (la région du cerveau qui s'occupe de l'audition) ; les quatre premiers étages qui sont situés dans le tronc cérébral sont :

- Le noyau cochléaire ; relais composé de trois parties.
- Le complexe olivaire supérieur ; composé de plusieurs petits noyaux qui reçoivent les informations des deux oreilles.

- Le noyau du lemme latéral ; relais de passage.
- Le collicule inférieur au niveau du cervelet ; relais principal qui permet le traitement des informations auditives et qui est divisé en trois parties.

Les informations sont ensuite transférées vers le cerveau au niveau de thalamus auditif ou corps genouillé médian (partie du cerveau qui s'appelle le diencéphale) pour atteindre finalement le lobe temporal du cerveau ce qui va permettre à l'être humain d'entendre. Ainsi que les informations liées à l'équilibration qui sont envoyées des cellules sensorielles, des macules et des crêtes ampullaires arrivent au tronc cérébral par le nerf vestibulaire en passant par un certain nombre de relais.

- Les voies auditives qui relient les différents étages de traitement des informations sont bidirectionnelles.
- Les relais se composent de cellules nerveuses de différents types, et de fibres entrantes appelées « fibres afférentes » et d'autres sortantes appelées « fibres efférentes ».
- Selon les fréquences et les intensités du son les cellules nerveuses réagissent différemment. [13]

*les axones : c'est un long prolongement fibreux d'un neurone ; il permet de transmettre les messages de l'organisme (douleur, mouvement) sous forme de signaux électriques. [14]

La surdité :

Surdité ou déficit auditif est la diminution plus au moins importante de l'acuité auditive d'une ou des deux oreilles, elle peut être due parfois à des malformations ou lésions de l'oreille moyenne, ce qui empêche à certains sons de traverser l'oreille, comme elle peut être héréditaire ou génétique.

Degré de surdité :

- De 0 à 20 dB : audition normale.
- De 20 à 40 dB : surdité légère, on dit que la personne est malentendante.
- De 40 à 70 dB : surdité moyenne.
- De 70 à 90 dB : surdité sévère, la personne n'entend que les sons très forts.
- Au-delà de 90 dB : surdité profonde, parfois appelée « cophose ».

La figure suivante montre les degrés de surdité selon une moyenne de pertes auditives sur les fréquences de 500 à 4000 Hz.



Figure 1.9: Degré de surdité. [17]

Type de surdité :

- ***Surdité de transmission :***

La cause de ce type de surdité est due à une atteinte soit au niveau de l'oreille externe et là on parle d'une otite externe (surdité passagère ou bénigne) soit au niveau de l'oreille moyenne, il peut s'agir d'une otite moyenne ou d'une maladie génétique non inflammatoire : l'otospongiose.

- ***Surdité de perception :***

Est définie par son origine au niveau de l'oreille interne du nerf auditif ou de la voie auditive centrale comme elle peut être également d'origine neurosensorielle.

- ***Surdité mixte :***

Mélange des deux.

La maladie de Ménière : (syndrome de Ménière)

C'est une maladie chronique qui affecte l'oreille interne (généralement une seule oreille), qui prend la forme d'épisodes imprévisibles et récurrente de vertige accompagné d'acouphène (sifflement de l'oreille) et d'une baisse de l'audition. Elle peut être due selon certains scientifiques à des blessures à la tête ou certaines infections mais sa cause demeure inconnue.

Conclusion :

L'objectif à travers ce chapitre était d'étudier en détail l'anatomie et la physiologie de l'oreille. A travers cette étude les deux fonctions principales de l'oreille à savoir l'audition et l'équilibration ont été décrites et expliquées. Les différentes pathologies liées à l'audition ont été aussi décrites.

Chapitres 02 : *explorations fonctionnelles auditives*
- *audiométrie*

Introduction :

Ce chapitre comporte deux parties ; dans la première partie on va décrire les différentes techniques d'exploration fonctionnelle de l'audition ainsi que leurs importances dans l'évaluation de l'acuité auditive, et en deuxième partie on va étudier plus en détail les différents aspects si y afférents à l'audiométrie qui aussi est une technique d'exploration fonctionnelle de l'audition et qui constitue l'objectif de ce projet de fin d'études.

Partie 01 : les Explorations fonctionnelles auditives

L'exploration fonctionnelle auditive permet l'évaluation de l'acuité auditive d'un sujet pour détecter d'éventuelles déficiences auditives (troubles de l'audition), de chercher la cause et de tester l'oreille après un traitement médicale, chirurgical ou prothétique. Les troubles de l'audition peuvent avoir d'importantes répercussions sur le développement d'une personne notamment d'un enfant et à plus long terme sur l'intégration sociale. Comme ils peuvent avoir une répercussion sur le travail de la personne quand sa fonction l'oblige à être présent dans un milieu bruyant (machine ou autre) ceci peut lui provoquer des déficiences auditives au niveau de son oreille qui risque de lui développer une surdité qui peut éventuellement conduire à la perte de son travail, dans ce cas le travailleur est censé être suivi par le service de médecine de travail pour le dépistage auditive.

On procède à l'estimation de l'audition du patient par deux modes de transmissions ; -par voie aérienne et -par voie osseuse.

Le mode de transmission par voies aériennes fait intervenir : l'oreille externe (pavillon et le conduit auditive externe) et l'oreille moyenne (la cochlée).

Le mode de transmission par voie osseuse met en jeu essentiellement : l'oreille interne qui transforme la vibration sonore dans le milieu liquidien (cochlée) en message nerveux, ceci est assuré par les cellules ciliées auditives.

Ces épreuves d'explorations se répartissent en deux groupes ; les tests objectifs qui sont basées sur l'enregistrement de l'activité électrique des divers relais auditive et ne font pas appel à la participation du sujet. A l'inverse, les tests subjectives font intervenir la perception auditive du sujet et nécessitent sa coopération.

2.1.1. Les tests objectifs :

Ce sont des méthodes basées sur l'enregistrement de potentiels cochléaires ou ceux de la voix auditive centrale. Il existe plusieurs types on trouve : l'impédancemétrie, les Potentiels Evoqués Auditifs (PEA), les oto-émissions acoustiques(OEA), l'electrocochléographie.

2.1.1.1. L'impédancemétrie :

Le terme impédancemétrie vient de la définition de l'impédance qui est le rapport entre la pression appliquée sur le tympan et l'intensité de l'énergie transmise par le tympan exprimée par sa mobilité résultante, par analogie à la première définition de l'impédance qui est le rapport entre les valeurs efficaces de la tension aux bornes d'un circuit électrique et l'intensité du courant qui le traverse. [18]

C'est un test objectif rapide permettant d'explorer l'oreille moyenne et interne ainsi que les voies auditives et le nerf facial en évaluant la fonction d'impédance de la membrane tympanique ainsi que la

souplesse ou la rigidité du système tympan- osselet c'est-à-dire l'étude de sa souplesse lors de la transmission des vibrations acoustiques (capacité à transmettre les sons) et la tolérance aux sons forts.

Cette technique ne peut être effectuée dans le cas où le tympan de l'oreille est perforé. Elle est basée sur deux examens : une tympanométrie et l'étude du réflexe stapédien.

- **La tympanométrie :**

Le but à travers cet examen est d'étudier la souplesse du tympan et des osselets et mesurer la mobilité de la membrane tympanique en appliquant des vibrations sonores à des pressions et fréquences différentes. Ces derniers sont générées à l'aide d'un appareil électronique appelé impédancemètre. Il comprend une petite sonde muni d'un microphone (pour le test cette sonde est placée dans le conduit auditif externe) qui est liée à un générateur de fréquence audible qui permet de faire varier la pression dans le conduit auditif externe en émettant un son continu dans l'oreille. Une fois le son est diffusé il sera ensuite réfléchi par le tympan capté et enregistré par le microphone, les deux oreilles sont testées séparément. L'examen se déroule dans une pièce insonorisé, il est indolore et peut être pratiqué chez les enfants comme chez les adultes.

Résultat :

Les résultats de la tympanométrie sont portés sur un graphique appelé « tympanogramme » (voir figure 2.1 ci-dessous). Il représente les variations de la compliance (inverse de l'impédance) en fonction des variations de la pression aérienne exercée sur le tympan- osselets à travers le conduit auditif externe.

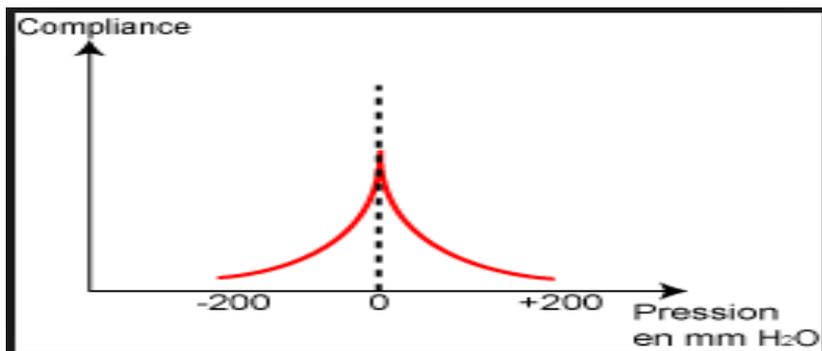


Figure 2.1: Tympanogramme normale. [21]

A 0 mm H₂O (pic centré sur le zéro) : le tympan est souple et la compliance est maximum.

En fonction de certaines pathologies affectant la compliance de l'oreille différents Tympanogrammes peuvent être obtenus à travers l'impédancemètre. Des exemples sont illustrés sur la figure 2.2 ci-dessous.

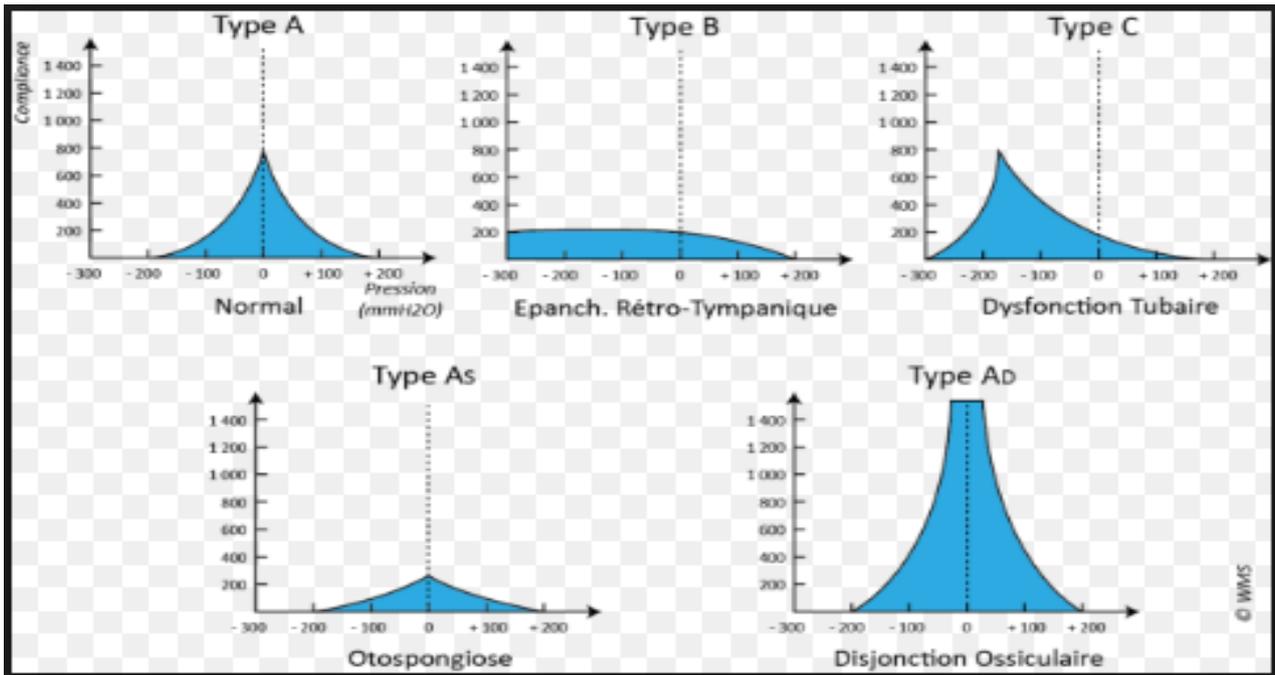


Figure 2.2: Différent type de tympanogramme. [22]

Type A : oreille normal.

Type B : Courbe plate : présence de liquide rétrotympanique.

Type C : Pic déplacé vers les pressions négatives : obstruction tubaire. (Dysfonction tubaire)

Type As : Courbe centrés mais d'amplitude diminuée : otospongiose.

Type Ad : Pic d'amplitude élevé : rupture de la chaîne ossiculaire. (Disjonction ossiculaire)

Ce test permet de déterminer le type de surdité, *pour une surdité de perception* : le tympanogramme est normale due à des troubles au niveau de l'oreille interne. Par contre *pour une surdité de transmission* : le tympanogramme est modifiée à cause des troubles au niveau de l'oreille moyenne. Il permet de repérer la présence du liquide dans l'oreille moyenne, une atteinte de la caisse du tympan ou une otite sérieuse.

- **Etude du réflexe stapédien :**

La mesure du réflexe stapédien, est basée sur la stimulation de l'oreille par un son intense dans le but d'étudier le comportement du système auditif pour protéger l'oreille interne c'est-à-dire éviter que le son n'arrive trop fort à l'oreille interne.

Afin d'obtenir la mesure du réflexe stapédien une sonde doit être déposée dans l'oreille à étudiée, alors que la stimulation se fait sur l'oreille controlatérale. Cette sonde va donc mesurer le seuil du déclenchement du réflexe stapédien ; l'intensité minimale pour laquelle le muscle du stapes (l'étrier) se contracte sous l'action du son. Sous l'effet de la stimulation la rigidité du système tympan-osselet augmente et cela pour protéger la cochlée d'éventuels dommages irréversibles. C'est le réflexe de protection de l'oreille interne en présence de sons trop intenses qu'on obtient dans les deux oreilles quelque soit l'oreille stimulé.

Résultat :

Chez les personnes normaux-entendant, le seuil du réflexe stapédien est de 80-85 décibels.

Dans le cas où le réflexe stapédien ne se déclenche pas ceci se traduit par la présence d'une surdité de transmission de l'oreille stimulée, cela peut provenir d'une otospongiose (un étrier immobile) ou d'une

luxation des osselets. Il peut aussi nous révéler sur la localisation d'une atteinte du nerf facial en cas de paralysie faciale.

2.1.1.2. Les potentiels évoqués auditifs (PEA) :

C'est un examen objectif permettant d'enregistrer l'activité électrique des voies nerveuses auditives de l'oreille et du cerveau à travers l'exposition à des bruits d'intensité variable. Il est largement pratiqué chez les nouveau-nés, les adultes ainsi que dans le bilan des accidents vasculaires cérébraux (AVC), des comas, des traumatismes crâniens...

L'enregistrement des PEA permet de confirmer ou préciser une surdité chez les enfants en bas-âge ainsi de mettre en évidence certaines lésions du nerf auditif et des voies auditives notamment au niveau du tronc cérébral (voir figure 2.3) [19].

Afin de réaliser ce test des électrodes sont placées sur le cuir chevelu, le vertex, les lobules des oreilles et le front, le patient doit être placé dans une cabine insonorisée. Les électrodes sont soumises à des stimulations acoustiques avec des niveaux sonores variables. Le son diffusé (un clic) est bref et aigu de fréquences respectives (1kHz, 2kHz, 3kHz), il sera ensuite répété 10 à 50 fois par seconde, et on recueille un signal nerveux qui est amplifié, filtré et moyenné. Ce signal est connu par PEA (voir Figure 2.4).

On décrit sur ce signal 5 pics (ondes I à V) qui correspondent aux résultats de la stimulation acoustique au niveau des différentes synapses de la voie auditive dans le tronc cérébral :

Onde I : ganglion spiral et nerf auditif.

Onde II : noyau cochléaire.

Onde III : olive protubérancielle.

Onde IV : noyau ventral du lemnicus latéral

Onde V : tubercule quadrijumeau postérieur.

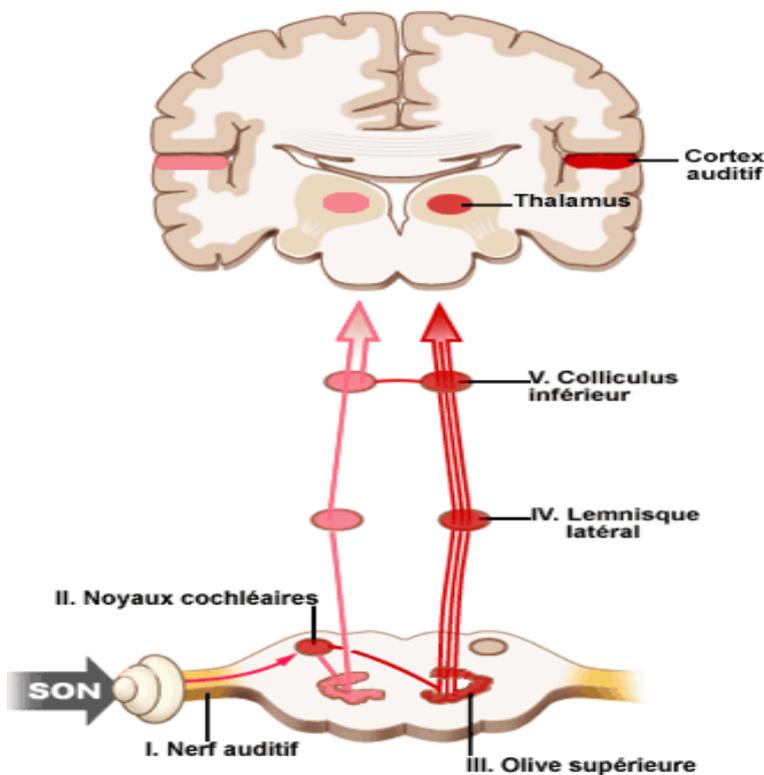


Figure 2.3: synapse de la voie auditive. [25]

- **Résultat :**

A travers ce test le médecin peut diagnostiquer une surdité de transmission dans le cas où l'onde I présente un retard de latence ou une diminution du seuil.

Une surdité rétro-cochléaire dans le cas où la latence de l'onde I est normale, un retard de latence de l'onde V, détérioration du seuil auditif ou une augmentation des délais I–V.

*latence : intervalle de temps entre un stimulus et la réponse.

*surdité réteo-cochléaire : c'est une surdité profonde et permanente qui est du à l'absence du nerf auditif ou un nerf auditif endommagé.

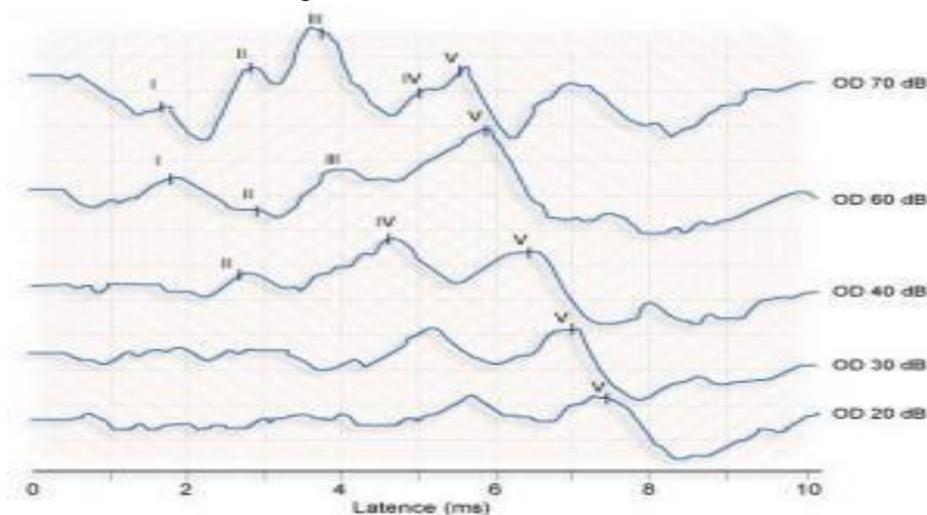


Figure 2.4 : Exemple d'un enregistrement PEA. [26]

2.1.1.3. Les oto-émissions acoustiques (OAE) :

C'est un test objectif, rapide et simple largement utilisé chez les nouveau-nés, il est basé sur l'émission d'ondes sonores par l'oreille interne en réponse à une stimulation sonore. Les oto-émission acoustiques sont particulièrement émises par les cellules ciliées de l'organe de corti. Cet examen est effectué en déposant une micro sonde dans le conduit auditive externe relié à un générateur d'ondes sonores. Elle comprend un haut-parleur et un microphone qui permet non seulement d'émettre les ondes sonores (les clics) mais aussi de les détecter.

Les résultats de ce test sont portés sur une courbe comme illustrée sur la figure 2.5 ci-dessous. Cette courbe représente les variations d'amplitudes des ondes sonores dues aux oto-émissions acoustiques en fonction du temps.

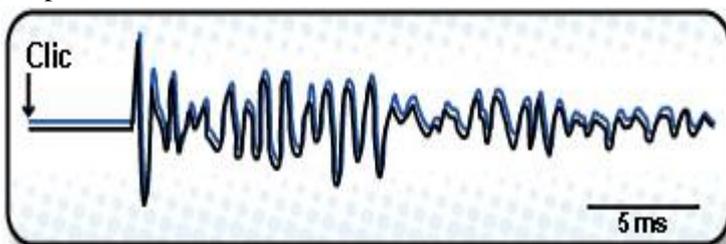


Figure2.5: Courbe OEA. [27]

De 5 à 10ms : ondes sonores transmises.

A partir de 10 ms : réponse de l'oreille (OEA).

Si les OEA disparaissent au-delà de 30 dB, le sujet présente une surdité.

2.1.1.4. L'électrocochléographie :

Comme son nom l'indique c'est un examen objectif qui permet d'enregistrer l'activité électrique de l'oreille interne (la cochlée), il nous révèle sur le fonctionnement normale ou pas de la cochlée. Il est particulièrement employé pour évaluer l'état auditif des jeunes enfants. Ce test consiste à introduire une électrode sous forme d'une aiguille très fine à travers le tympan puis la pousser quelques millimètre près de la cochlée. Cette dernière est ensuite soumise à des stimulations sonore (50 clics par seconde de 0 à 100 dB). En réponse on détecte une activité électrique enregistré par l'électrode puis traduite sous forme d'un signal connu par électrocochléogramme.

(Voir figure 2.6 ci-dessous).

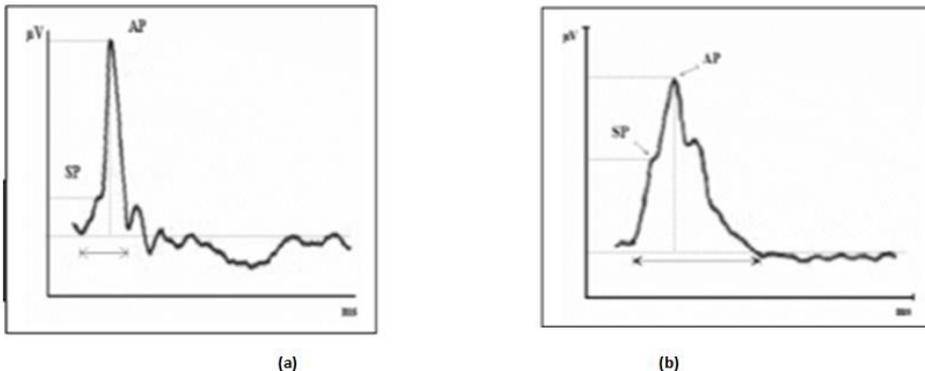


Figure 2.6: Electrocochléogramme pour un sujet normal (a) d'un sujet malade (b). [24]

2.1.2. Les tests subjectifs :

Ce sont des tests auditifs réalisés en coopération avec le sujet, on trouve : l'acoumétrie (l'épreuve de Weber et de Rinne) et l'audiométrie.

2.1.2.1. Acoumétrie :

L'acoumétrie est un examen subjectif, simple et rapide qui permet d'étudier la qualité et la capacité auditif ainsi que la présence ou pas d'une surdité (transmission/perception). Ceci est obtenu par une instrumentation phonique ou instrumentale.

- **a/ Acoumétrie phonique :**

Consiste à mesurer l'audition d'un sujet en lui demandant de répéter des mots chuchotés et prononcés à voix normal tout en s'éloignant de lui peu à peu, ensuite on mesure la limite pour laquelle le sujet peut sans aucune difficulté répéter correctement les mots et on compte le pourcentage de bonne réponses. Quoiqu'il est l'examen le plus simple du dépistage auditive, sa fiabilité reste très limitée.

- **b/ Acoumétrie instrumentale :**

Elle permet d'évaluer le seuil auditif en faisant appel à des diapasons calibrés en fréquences de 250 à 500 Hz par le biais de deux tests : le test de Weber et le test de Rinne.

- **Test de Weber :**

On dispose la série des diapasons une à une sur le milieu du front pour transmettre les vibrations de manière symétrique, puisque c'est un test subjectif donc selon la réponse du sujet et par rapport à l'endroit où il entend le son émis, le diagnostic est posé (voir figure 2.7). Il y a trois réponses possibles :

1. Perception du son de manière symétrique, dans les deux oreilles, on dit que le Weber est indifférent et le sujet est sain.

2. Perception du côté de l'oreille atteinte, on dit que le Weber est latéralisé du côté malade, et le sujet dans ce cas présente une surdité de transmission parce que la conduction osseuse est privilégiée du côté malade, car si l'oreille moyenne est atteinte, l'oreille moyenne est protégée du bruit de fond extérieur.
3. Perception du côté sain, on dit que le Weber est latéralisé du côté sain, et le patient présente une surdité de perception du fait que la conduction osseuse est privilégiée du côté sain.

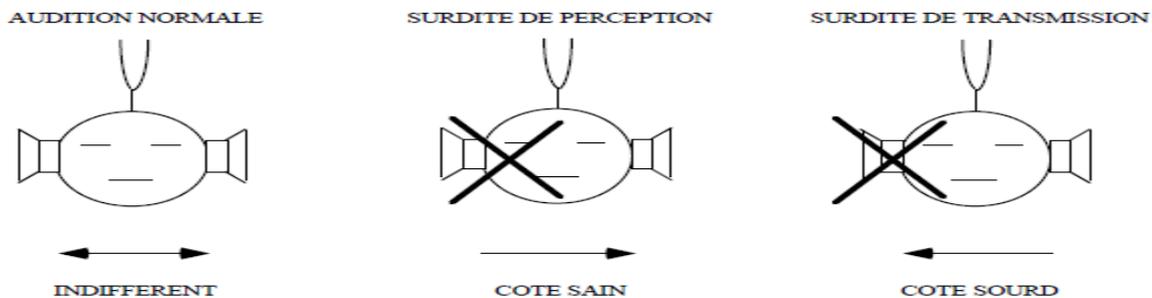


Figure 2.7: Test de Weber. [20]

2.1.2.2. Test de Rinne:

Les deux oreilles sont testées séparément en disposant les diapasons sur la mastoïde en premier lieu et en second on les dispose en face du conduit auditif externe (voir figure 2.8). Ce test permet de comparer entre la conduction aérienne et osseuse.

1/ Chez un sujet normal :

Lorsque le diapason est sur la mastoïde, l'oreille perçoit le son qui diminue ensuite avec la diminution de la vibration jusqu'à disparition. Et quand le diapason est à côté du conduit auditif externe, le sujet entend de la même manière, car en conduction aérienne l'oreille moyenne amplifie le son de 40 dB [12], dans ce cas l'épreuve de Rinne est dite positive car ;

La conduction aérienne > la conduction osseuse.

2/ Un sujet qui présente une surdité de transmission :

Le son est aperçu par l'oreille lorsque le diapason est disposé sur la mastoïde par contre lorsque le diapason est devant le conduit auditif externe le sujet n'entend pas du fait que l'oreille moyenne est atteinte donc elle ne peut plus amplifier le son à 40 dB donc ;

La conduction osseuse > la conduction aérienne, l'épreuve de Rinne est alors dite négative.

3/ Un sujet qui présente une surdité de perception :

Le sujet perçoit le son lors des deux positions du diapason (sur la mastoïdes, et devant le conduit auditif externe). L'épreuve de Rinne est dite positive et **la conduction aérienne > la conduction osseuse.**

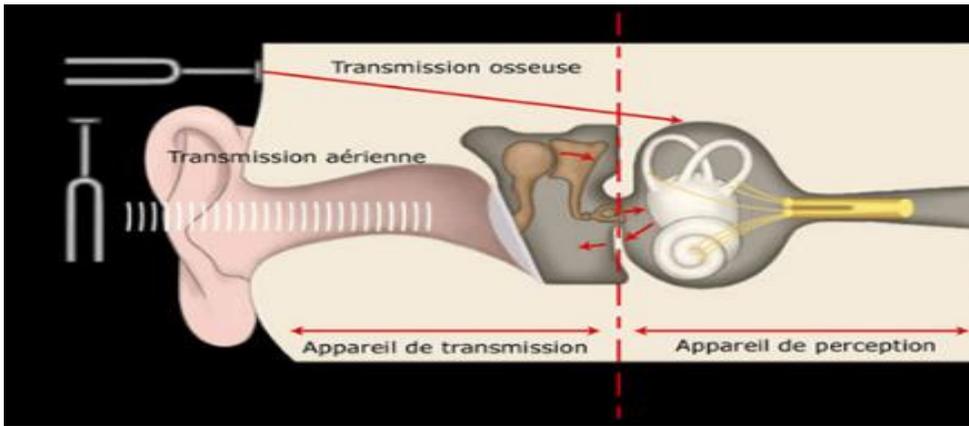


Figure 2.8: Transmission aérienne et osseuse à travers diapason. [30]

Le tableau 2.1 ci-dessous résume les résultats des tests de Weber et de Rinne pour respectivement une oreille saine, une oreille présentant une surdité de transmission et celle présentant une surdité de perception.

	Oreille saine	Surdité de transmission	Surdité de perception
WEBER	Centré	Lat�ralis� côté malade	Lat�ralis� côté sain
RINNE	Positif	Négative	Positif

Tableau 2.1: Test de Weber et Rinne. [28]

Partie 02 : *Audiométrie*

2.2.1. Introduction :

L'audiométrie est un test subjectif, simple, rapide et non invasif ni douloureux. Il constitue la base de l'examen de l'audition par le biais d'un dispositif médical appelé « audiomètre ». L'audiomètre génère des sons à fréquence et intensités variables qui peuvent être sélectionnées par le médecin et appliquées au sujet à travers un casque d'écoute.

Le premier audiomètre mis au point était en 1878 par le musicien « **Arthur Hartmann** ». Cependant on attribue souvent la paternité de l'audiomètre au physicien « **Harvey Fletcher** », toutefois ce fut qu'en 1879 que « **Benjamin Richardson** » a donné le nom Audimètre à l'appareil à partir des racines étymologiques latines [31]. Actuellement, il est couramment utilisé en exploration auditive. Le médecin fait entendre des sons à des fréquences et intensités différentes au patient qui à son tour signale ceux qu'il entend. Les résultats de ce test (les sons écoutés) sont reportés sur un graphe d'intensité en fonction de la fréquence. Ce graphe est connu par « audiogramme ». Il s'agit en fait de la traduction graphique des résultats de l'audiométrie, et des capacités auditives de la personne testée.

Cet examen est subjectif car il nécessite une collaboration du patient c'est-à-dire que les résultats peuvent varier selon l'attention et la participation du patient. Il est ainsi généralement recommandé d'effectuer un examen de l'oreille par otoscopie (utilisation d'un otoscope) et un nettoyage de la cire présente dans l'oreille.

2.2.2. Types d'examens Audiométriques :

Il existe deux types d'examen audiométrique, l'audiométrie tonale et l'audiométrie vocale. En exploration auditive ils sont souvent complémentaires.

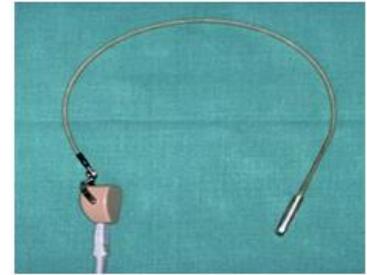
Audiométrie tonale :

Comme son nom l'indique ce test permet de déterminer le seuil d'audition de chaque oreille en conduction aérienne et osseuse, et cela par le biais de stimulus de fréquences et intensités variables. Ce stimulus (son) doit être pur et pulsés du fait qu'un son pulsé est facilement identifiable et ne présente pas de risque de fatigue auditive.

Pour l'appréciation du seuil de l'audition en conduction aérienne, un casque d'écoute doit être correctement placé sur le conduit auditif externe cependant pour le test de conduction osseuse un vibreur osseux est utilisé (voir figure 2.9 Ci-dessous).



(a)



(b)

Figure 2.9:(a) Casque utilisé en conduction aérienne, (b) Vibrateur osseux. [37]

L'examen débute par la meilleure oreille selon les données de l'interrogatoire du patient réalisé par le médecin avant le test ensuite on fixe une fréquence et on procède par un balayage d'intensité de -10 dB à 120 dB avec un pas de 5 dB jusqu'à ce que le patient perçoive le son, on lui demande de nous signaler la plus faible intensité dont il arrive à discerner pour chacune des fréquences testées. La bande fréquentielle utilisée varie de 125 Hz à 8000 Hz. C'est la bande qui présente le plus d'informations relative au seuil d'audition et au déficit auditif. Elle est fixée par le médecin réalisant le test.

En général le test débute à 1000 Hz niveau confortable pour familiariser le patient avec l'examen, on poursuit ensuite par les fréquences aiguës en ordre croissant, on confirme le seuil à 1000 Hz et on termine par les fréquences graves en ordre décroissant. La même procédure est effectuée ensuite pour l'oreille controlatérale.

En conduction osseuse le seuil est déterminé à travers un vibrateur osseux qui doit être posé sur la mastoïde de l'oreille testée c'est-à-dire que le son ne va pas traverser le méat acoustique externe. Le test est effectué de la même façon qu'en conduction aérienne et avec le même protocole.

Une description du processus anatomique de ces deux conceptions est illustrée sur la figure 2.10 ci-dessous.

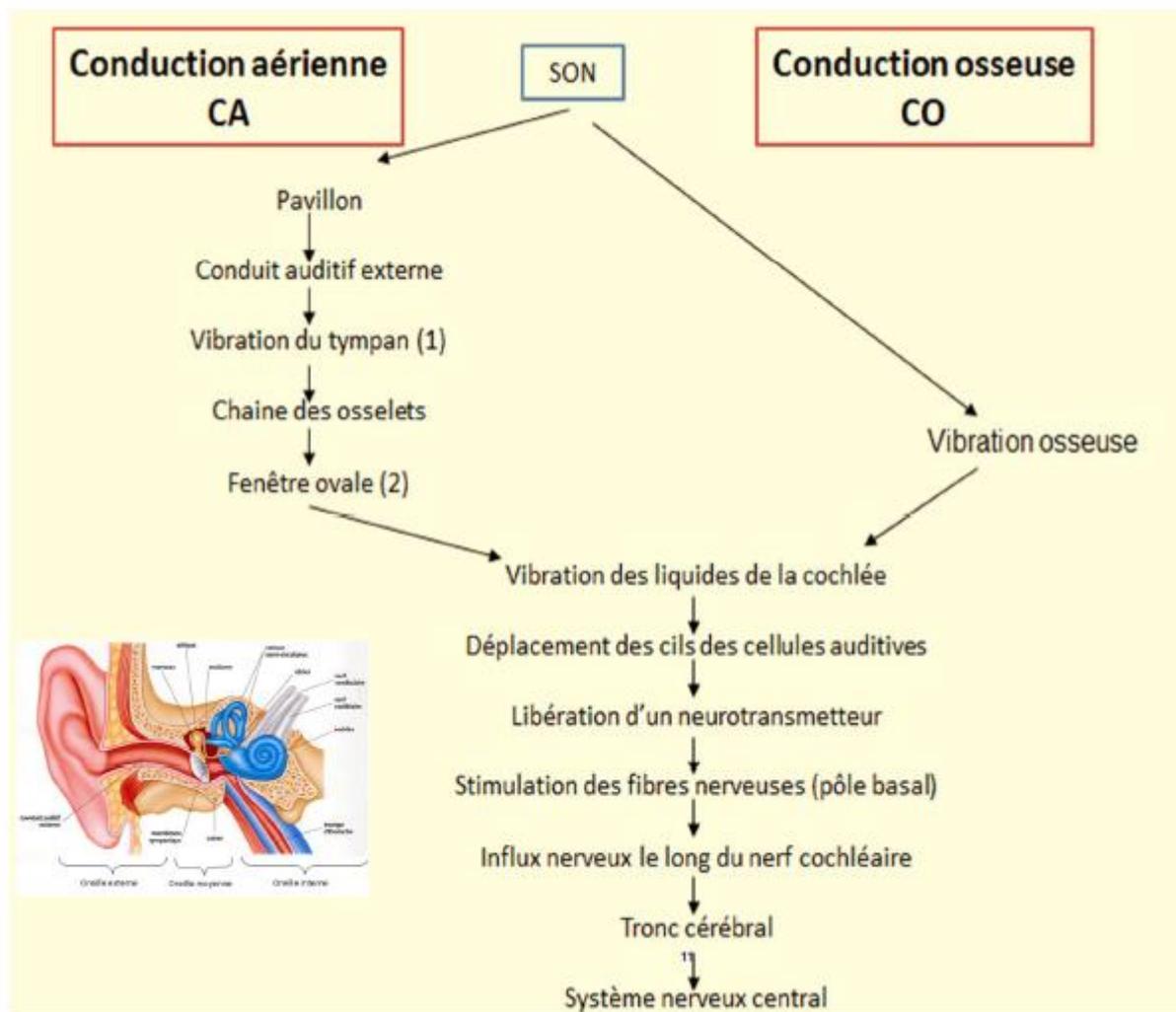


Figure 2.10: Description anatomique de la conduction aérienne et osseuse. [48]

- **Masquage : (assourdissement)**

C'est une technique utilisée en audiométrie tonale dans le cas où il y a une différence importante en seuil d'audition entre la conduction aérienne et osseuse des deux oreilles (une différence de 45 à 50 dB). La technique consiste à mélanger un bruit blanc (un bruit blanc est un signal dont la densité spectrale de puissance est la même pour toutes les fréquences de la bande passante [32]) au signal de test en audiométrie à l'oreille non testé, en augmentant le niveau de bruit. Ce test est ensuite réalisé de la même façon sur l'autre oreille.

Parmi les différentes méthodes de masquage utilisées on trouve celle qui s'effectue selon les étapes suivantes :

- 1/- Evaluation des courbes en conduction aérienne et osseuse sans aucun assourdissement.
- 2/- Confrontation aux résultats du test de Weber.
- 3/- Evaluation de l'écart entre les courbes aérienne et osseuse, dans le cas où ça dépasse 45 dB, l'assourdissement est nécessaire.
- 4/- Utilisation du bruit blanc pour masquage.

5/- Application des règles d'efficacité et de non retentissement :

1. Critère d'efficacité : **valeur minimale de l'assourdissement** = niveau du son test +delta d'assourdissement + la valeur du Rinne du côté de l'oreille à masquer.
2. Critère de non retentissement : **valeur maximale de l'assourdissement** = niveau du son test + énergie de transfert transcrânien (60 dB). [33]

6/- Dans le cas où ce masquage demeure impossible c'est-à-dire (**valeur minimale de l'assourdissement**>**valeur maximale de l'assourdissement**) on utilise d'autres techniques comme le test de Rainville.

*Test de Rainville : c'est un masquage qui est effectué sur l'oreille explorée par voie osseuse afin de faire disparaître le seuil aérien de cette même oreille (il disparaît une fois le seuil osseux est atteint). [34]

Résultats du test tonal :

Les résultats sont basés sur les réponses fiables du patient, ils sont ensuite portés sur un graphique appelé « audiogramme » qui représente les pertes auditives en dB en fonction des fréquences du test (voir figure 2.11).

Le test ne doit pas dépasser 20 minutes pour éviter tout risque de fatigue auditive qui peut perturber les réponses.

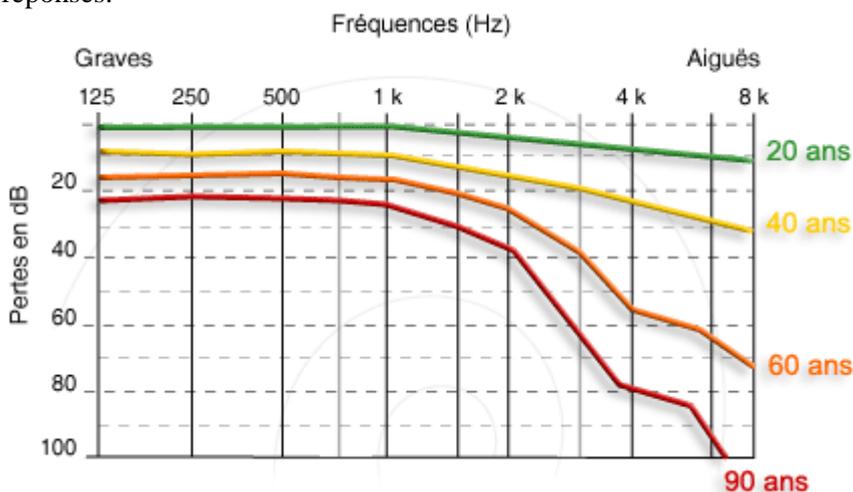


Figure 2.11 : Audiogramme perte auditif en fonction de l'âge. [38]

Convention de notation des résultats :

Les symboles représentés sur la figure 2.12 ci-dessous sont utilisés pour annoter les résultats sur un audiogramme. Ils respectent une normalisation.

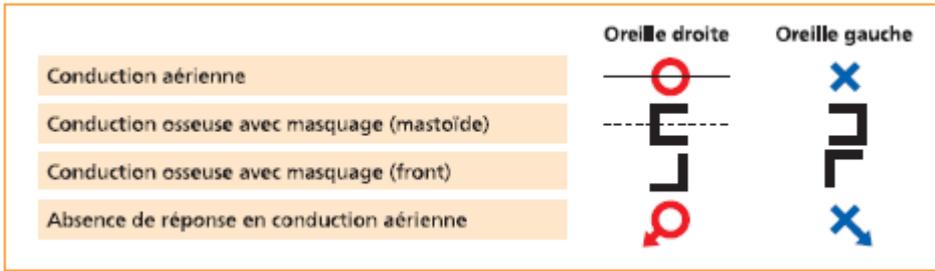


Figure 2.12 Symboles pour l'annotation sur un audiogramme. [33]

- En conduction aérienne les seuils sont reliés par des traits plein.
- En conduction osseuse les seuils sont reliés par des pointillés.

A travers les valeurs et courbe obtenue, on peut diagnostiquer le type de surdité et calculer un certain nombre d'indicateur audiométriques qui nous renseigne sur déficit auditif et perte d'audition voir tableau 2.2.

• **Types de surdité :**

Surdité de transmission :

La courbe osseuse est meilleure que la courbe aérienne. Voir figure 2.13

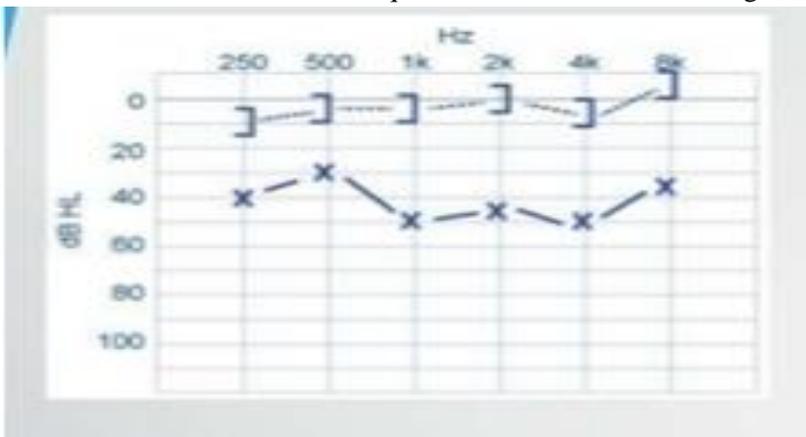


Figure 2.13: Surdité de transmission. [38]

Surdité de perception :

Les courbes aérienne et osseuse sont identiques voir figure 2.14.



Figure 2.14: Surdité de perception. [38]

Surdité mixte :

Mélange des deux. Voir figure 2.15.



Figure 2.15: Surdité mixte. [38]

Indicateur audiométrique	Formule
Indice tonal moyen	$(500 + 1000 + 2000) / 3$
IPA: Indice précoce d'alerte	$(3000 + 4000 + 6000) / 3$
Indicateur médico-légal	$(2 \times 500 + 4 \times 1000 + 3 \times 2000 + 4000) / 10$
Indicateur de surdité professionnelle dans le régime général depuis 2003 ¹⁹	$(500 + 1000 + 2000 + 4000) / 4$

Tableau 2.2 : Différents indicateurs audiométriques. [33]

Audimétrie vocale :

L'audiométrie vocale est le test complémentaire à l'audiométrie tonale, il consiste à mesurer l'intelligibilité de la parole et la connaissance de langage, c'est-à-dire apprécier l'aptitude de la personne à comprendre la parole. Ceci permet de différencier les distorsions d'origine endocochléaire des atteintes centrales de l'audition. Le test consiste à faire envoyer une liste de mots monosyllabique ou dissyllabique que le sujet doit correctement répéter et ensuite on compte le pourcentage de bonnes réponses.

Résultats :

Les résultats sont portés sur un graph qui représente le pourcentage (%) de mots répétés correctement en fonction de l'intensité en dB voir figure 2.16.

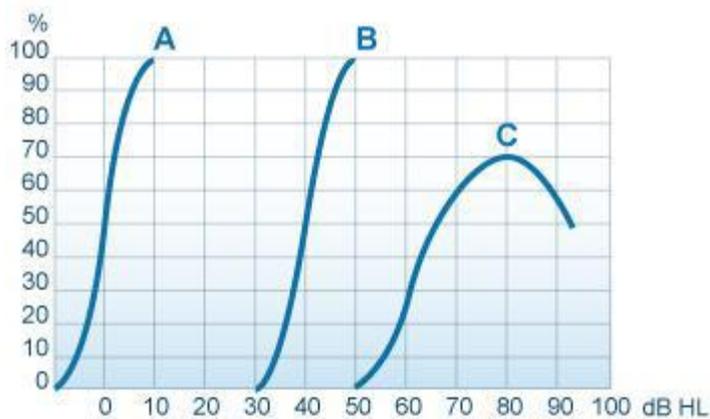


Figure 2.16: courbe de sujet normo-entendant et mal entendant. [39]

- **Seuil d'intelligibilité** : intensité en dB à 50% de mots répétés.
- **Pouvoir de discrimination** : % de mots compris à une intensité située à 35 dB au-dessus du seuil d'intelligibilité.
- **Seuil de distorsion** : intensité à partir de laquelle, l'intelligibilité diminue malgré l'augmentation de l'intensité.

*Discrimination : la capacité à discerner les phonèmes.

Le seuil d'intelligibilité vocal, correspond au niveau le plus bas pour lequel le sujet répète correctement 50 % des mots.

L'épreuve débute à 20 dB d'intensité, ensuite on diminue le niveau à chaque liste de 5 à 10 dB selon la réponse, on obtient ensuite la courbe d'intelligibilité vocale (voir exemple figure 2.15 ci-dessous).

Il faut en générale 5 à 10 points pour tracer une courbe complète, et le score ne doit pas être inférieur à 50%, si c'est le cas on augmente de 5 dB en présentant une nouvelle liste de 10 mots.

Liste des mots utilisés :

La liste des mots utilisés doit être compréhensible par le patient, pour qu'il puisse être capable de la reproduire. A titre d'exemple la liste portée sur le tableau 2.3 est souvent exploitée en langue française.

Listes de mots monosyllabiques:		Listes de mots dissyllabiques:	
Liste n°1	Liste n°2	Liste n°1	Liste n°2
lac	lande	le bouchon	le râteau
danse	corps	le souper	le donjon
poule	fil	le rondin	le sergent
cire	messe	le grumeau	le crémier
fève	nappe	le rebut	le niveau
malle	rogue	le glaçon	le refrain
rince	saute	le réchaud	le veston
tank	cave	le coffret	le forban
rampe	toile	le gamin	le bûcher
panne	dire	le clavier	le cachot

Tableau 2.3: Liste des mots utilisés en audiométrie vocal. [39]

Dans le cas d'une surdité de transmission :

- La courbe est d'allure normale en S, il n'y a pas de déformation.
- Il y a un décalage vers la droite par rapport à la référence (seuil normal).

Dans le cas d'une surdité de perception :

- la courbe peut avoir une allure anormale avec une déformation et un infléchissement dans les intensités élevées traduisant des distorsions (recrutement). [36]

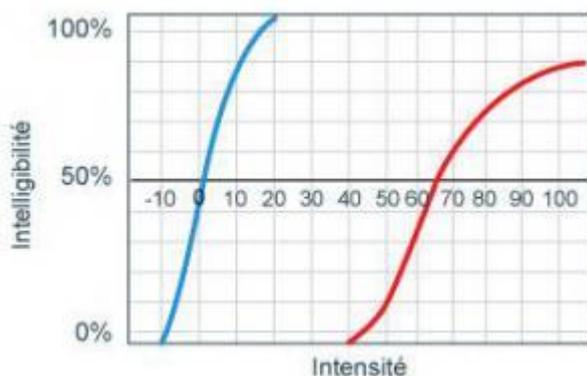


Figure 2.17 Comparaison entre un sujet normal et mal entendant. [40]

Sur le graphe ci-dessus, la courbe bleue représente l'audiogramme vocal d'un sujet normo-entendant. La courbe rouge présente l'audiogramme d'un sujet malentendant : il ne commence à entendre qu'à partir de 65 dB (on tient compte de l'intensité à laquelle il obtient 50% d'intelligibilité). De plus, la courbe n'atteint pas les 100% d'intelligibilité, même lorsqu'on augmente l'intensité, ce qui traduit d'importantes difficultés de compréhension.

2.2.3. Exemples d'Appareillage audiométrique :

Les audiomètres sont des dispositifs médicaux largement utilisés dans les hôpitaux en service ORL, en médecine de travail ou en médecine scolaire. Ils offrent la possibilité de réaliser des explorations fonctionnelles auditives pour l'évaluation précise de l'audition que se soit chez l'adulte ou l'enfant permettant au médecin d'apprécier l'importance d'un déficit auditif, et à établir le diagnostic topographique de la cause de ce déficit.

Le principe des audiomètres est basé sur la génération de stimulus : sons continus ou pulsés. Les sons pulsés sont préférés car ils sont plus faciles à identifier et ne présentent pas de risques sur l'oreille du patient que les sons continus.

Parmi les audiomètres utilisés actuellement on trouve les audiomètres classiques avec cabine insonorisée comme le **SIBELMED AC50** (voir figure 2.18 et 2.19) qui se trouve au niveau du laboratoire **TOXICOMED** (laboratoire de recherche Fac de Médecine université de Tlemcen) sur lequel je me suis basé pour proposer l'approche de mon projet de fin d'étude. C'est un appareil compact basé principalement sur un générateur de son, un générateur de bruits pour la production de stimulus avec des fréquences qui varie entre 0 Hz et 8 KHz, un ensemble d'écouteurs de conduction aérienne et un vibreur osseux. Le système entier est contrôlé par un microprocesseur qui permet d'effectuer des tests de façon fiable, simple et rapide. Ainsi qu'une Cabine audiométrique insonorisée (parois isolantes, sol anti-vibration). [45]



Figure 2.18: Audiomètre SIBELMED AC 50. [41]



Figure 2.19: Cabine insonorisée. [42]

D'autres audiomètres commercialisés sont exploités pour l'estimation du seuil de l'audition, comme l'audiomètre haute fréquence **MADSEN ASTERA** (voir figure 2.20 et 2.21) et les audiomètres ambulatoires.

Le premier type a été récemment développé, il offre une gamme complète de tests d'audiométrie avec une précision, souplesse et efficacité. Doter du logiciel « OTO suite » intégré afin de pouvoir partager, enregistrer et consigner les données et les dossiers médicaux électroniques ; ainsi qu'un écran tactile qui rend la tâche quotidienne plus facile. Un ensemble de procédures peuvent être effectuées à travers cet appareil : l'audiométrie, la vidéo-otoscopie, OEA cliniques et la tympanométrie. [46]



Figure 2.20: Audiomètre MADSEN ASTERA. [43]

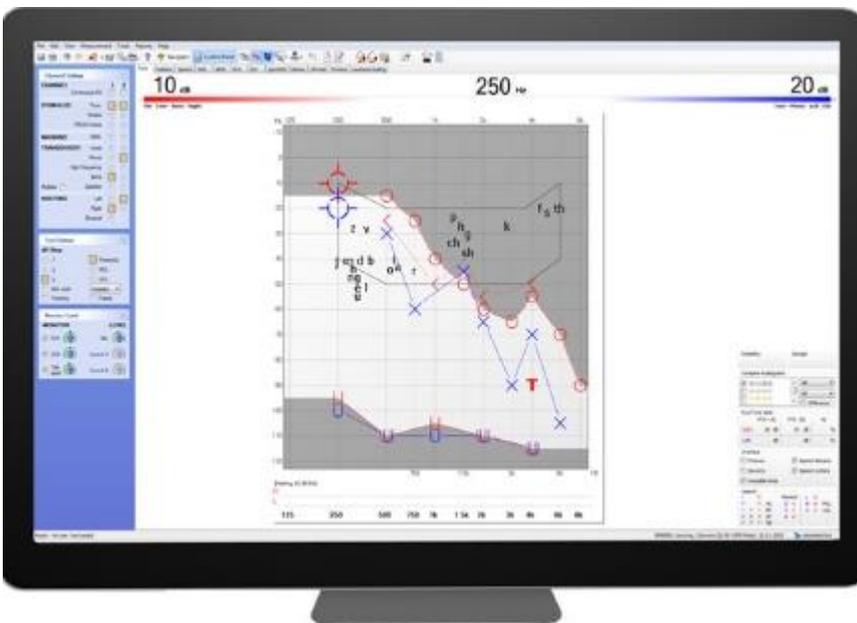


Figure 2.21 : Audiomètre MADSEN ASTERA. [48]

Le deuxième type c'est les audiomètres ambulatoires (voir figure 2.22). Ils permettent d'effectuer un diagnostic des capacités auditives en **ambulatoire, simple d'utilisation** et précis. Leurs Niveaux sonores sont ajustables de -10 à 100 dB par pas de 5 dB, et ils présentent des touches silencieuses. [47].



Figure 2.22 : Audimètre ambulatoire. [44]

2.2.4. Conclusion :

A travers ce chapitre la description des différentes techniques d'explorations auditives a été d'abord faite. Cette description était suivie par une étude assez détaillée de l'audiométrie à travers laquelle les différents tests et paramètres utilisés pour l'exploration des déficits auditifs ont été présentés. Le chapitre a été finalisé par des exemples de dispositifs audiométriques commercialisés.

Chapitre 03 : *Implémentation de l'audiomètre virtuel*

3.1. Introduction :

Dans ce chapitre on s'intéresse à la description détaillée de notre réalisation. Il s'agit de présenter l'approche logicielle avec laquelle on a réalisé l'audiomètre logiciel, ses différentes fonctionnalités et les mesures pour le calibrage et de tests réalisés. Comme cela était cité auparavant, le logiciel de programmation utilisé pour cette réalisation est le logiciel de programmation graphique « LabView ». Ainsi, dans une première partie « Partie 01 » de ce chapitre une description succincte de ce logiciel est faite. Cette partie est suivie par une deuxième « partie 02 » dans laquelle la réalisation est détaillée ainsi que le calibrage et les mesures qui sont faites.

Partie 01 : *Présentation de l'outil de développement*

3.1.1. Qu'est ce que « LabView » ?

LabView (**L**aboratory **V**irtual **I**nstrument **E**ngineering **W**orkbench) est un langage de programmation graphique basé sur l'utilisation des icônes au lieu de lignes de texte pour créer des applications. Les icônes utiliseraient des VIs (Virtual Instrument) ou instrument virtuel qui représente des programmes LabView imitant les instrument physiques. Il utilise la programmation par flux de données, c'est le flux des données transitant par les nœuds sur le diagramme qui détermine l'ordre d'exécution des VIs et des fonctions [49].

C'est un système de programmation à usage général qui comporte des bibliothèques de fonctions pour toute tâche de programmation : l'acquisition de données, le contrôle d'instruments, analyse, traitement et stockage de données. [50]

Pour réaliser une application sous « LabView », deux fenêtres différentes sont utilisées ; une interface utilisateur réalisée à l'aide d'un ensemble d'outils et d'objet appelé Face avant « front Panel » et l'interface du code qui commande les objets du « Front Panel » par des représentations graphiques, ce code est appelé code G ou code du diagramme d'où le nom de cette fenêtre : Diagramme « Block diagram » (voir figure 3.1 ci-dessous)

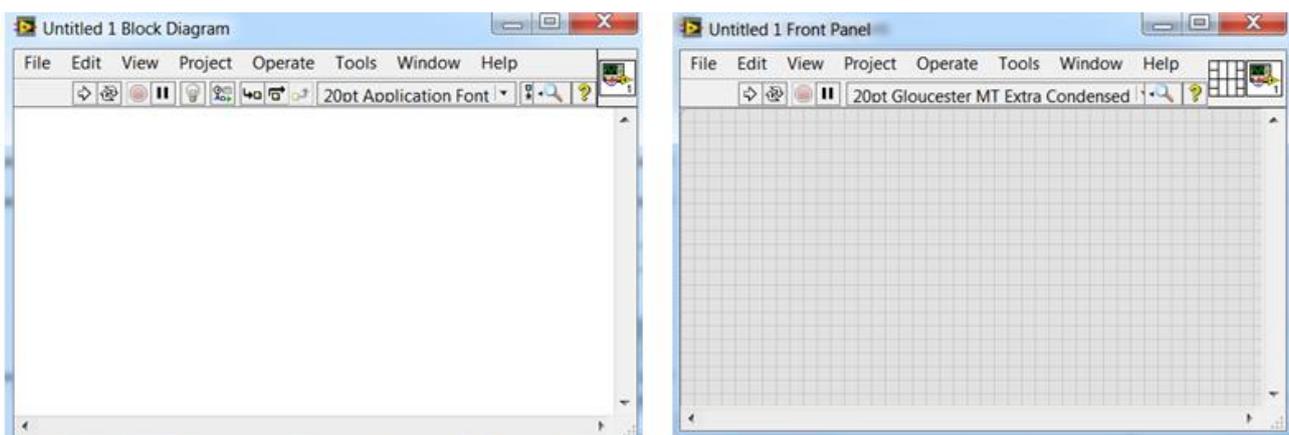


Figure 3.1: les deux fenêtres utilisées pour la réalisation d'une application sous « LabView ».

Un VI contient les trois composantes suivantes :

- **Face-avant** : elle sert d'interface utilisateur.
- **Diagramme** : Contient le code source graphique qui définit les fonctionnalités du VI.
- **Icône et connecteur** : Identifie l'interface au VI pour qu'il puisse être utilisé dans un autre VI. Un VI à l'intérieur d'un autre VI est appelé sous-VI. Un sous-VI correspond à un sous-programme dans des langages de programmation textuels. [49]

31.1.1. La face -avant :

La face-avant est l'interface utilisateur du VI où on construit les commandes et les indicateurs qui sont respectivement les terminaux d'entrée et de sortie interactifs du VI.

Les commandes représentent : les boutons rotatifs, les boutons poussoirs, les glissières, les cadrans et autres mécanismes d'entrée. Les commandes permettent de stimuler l'entrée du VIs.

Les indicateurs représentent : les graphes, les LEDs, les boutons de mis en garde et d'autres afficheurs de sortie. Les indicateurs affichent les données en sortie de VI.

- **Exemple :**

Génération d'un signal sinusoïdal et l'afficher sur un graph. (voir figure 3.2 ci-dessous)

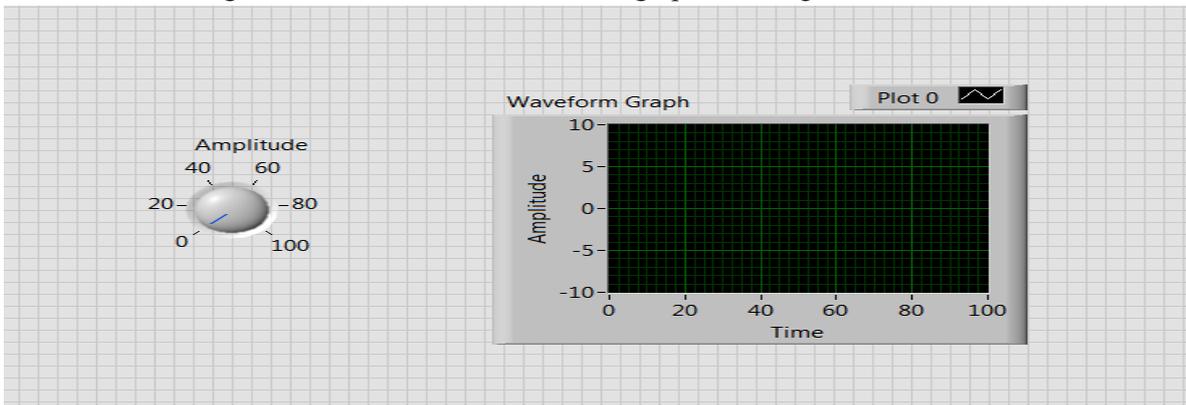


Figure 3.2: Implémentation de la face avant.

La commande amplitude est «Dial» qui permet de faire entrer les amplitudes à générer par le VI. Le « Waveform graph » permet d'afficher le graph généré, sur la figure 3.2 on remarque qu'il n'y a aucun affichage sur l'indicateur «Waveform graph » car l'implémentation des fonctions sur le « diagramme » qui commande la « face- avant » n'est pas encore réalisée.

3.1.1.2. Le diagramme :

Après avoir créé la face avant on doit construire le code graphique (voir figure 3.3) qui commande les objets de la face- avant en utilisant la représentation graphique des fonctions. Ce code est appelé code G ou code diagramme où on trouve les terminaux de la face-avant, les fonctions et les fils de liaisons.

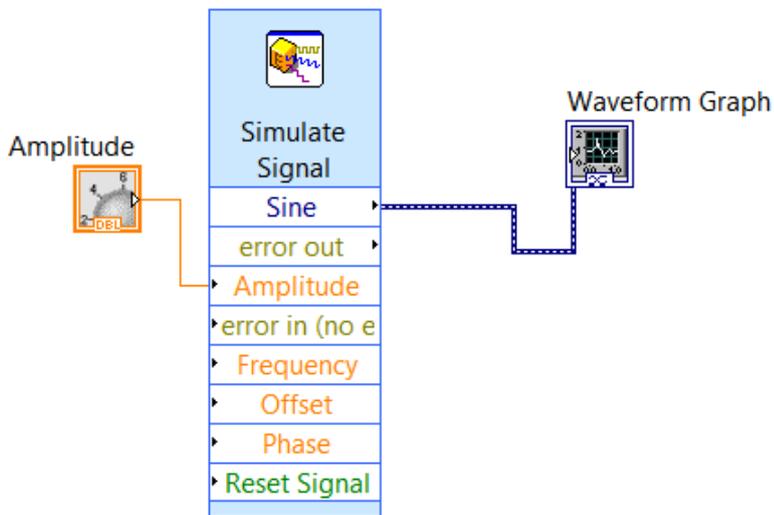


Figure 3.3: Implémentation du code graphique.

Le VI « Simulate Signal » permet de générer des signaux sinusoïdaux avec amplitude ajustable à travers la commande d'amplitude qui se trouve sur la face-avant qui doit être reliée à la l'entrée du VI au niveau de la fenêtre « digramme », ainsi la sortie du VI est reliée à l'indicateur « Waveform graph » qui affichera le signal au niveau de la face-avant comme le montre la figure 3.4 ci-dessous.

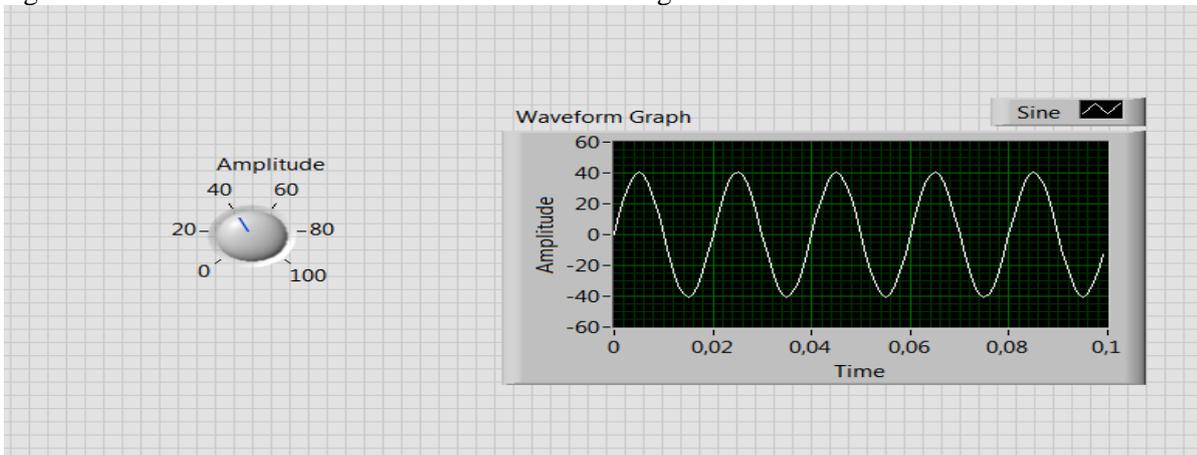


Figure 3.4: Résultat de l'implémentation.

- **Les terminaux :**

Les terminaux représentent le type de données de la commande ou de l'indicateur [49]. Ce sont des ports d'entrée et de sortie que le VI utilise pour échanger des informations entre la face-avant et le diagramme.

Exemple : Implémentation d'un circuit qui permet d'effectuer une multiplication de deux chiffres (voir figure 3.5 ci-dessous)

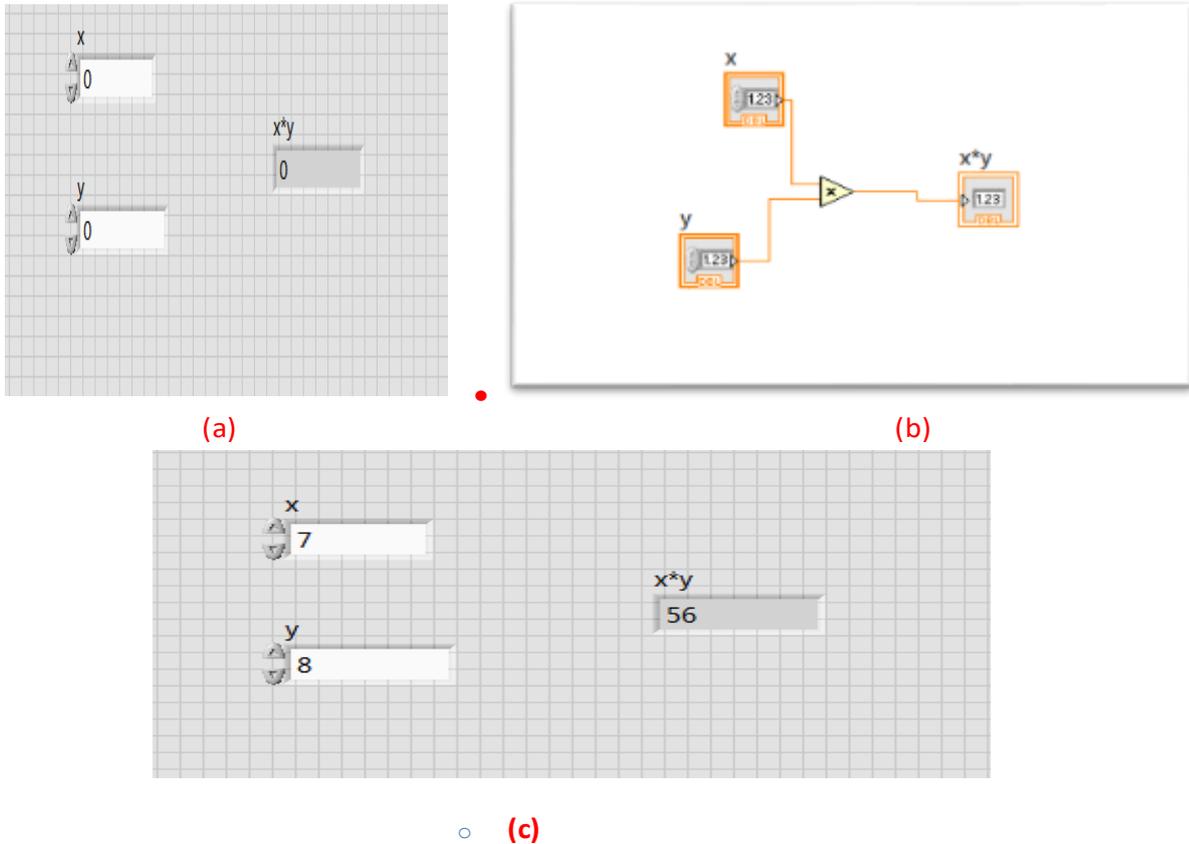


Figure 3.5: exemple de l'implémentation de la multiplication de deux chiffres (a) La face – avant, (b) le diagramme, (c) l'affichage du résultat.

Comme illustré sur la figure 3.5, les valeurs de x et y sont ajoutées dans les commandes de la face- avant, qui seront transmises au diagramme par le biais de terminaux. Une fois la multiplication est effectuée dans le diagramme, le résultat de la multiplication en sortie du VI (multiplication) est transmis du diagramme à la face-avant par les terminaux des indicateurs. Les terminaux qui transmettent les valeurs de la face avant au diagramme sont : le terminal x et y . et celui qui affiche le résultat (qui est transmis du diagramme à la face avant) est le terminal $x*y$.

- **Les fils de liaisons :**

Ils permettent d'effectuer le transfert des données entre les objets d'un diagramme. Ils sont de couleurs, de styles et d'épaisseurs différents en fonctions de leur type de données. Dans le cas d'une liaison erronée entre deux VI le fil apparaît en pointillés noirs avec un symbole X en rouge au milieu.

- **Les structures :**

Les structures sont des représentations graphiques des boucles et des conditions des langages de programmation textuels [49]. « LabView » offre la possibilité d'utiliser différents boucle et structure selon le besoin du circuit à implémenter. On trouve à titre d'exemple:

La boucle « For loop » : elle permet de répéter une partie du code diagramme selon un nombre déterminé qui est définis par l'opérateur,

La boucle « While » : elle permet de répéter les blocs du code en exécution contenu à l'intérieur de la boucle jusqu'à ce qu'on clique sur le bouton stop associé,

La structure condition « case structure » : elle permet la réalisation d'une seule condition,

la structure séquence « event structure »:elle permet l'exécution de sous-programme de manière séquentielle

Les structures respectivement temporelles, événement et formule et bien d'autres structures tel que c'est illustré sur la figure 3.6 ci-dessous.

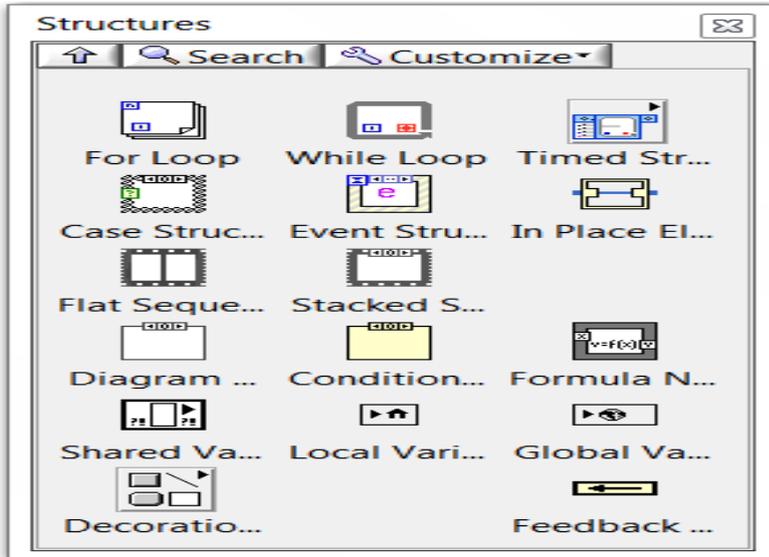


Figure 3.6: Les Structures sous LabView.

- **Palette des commandes :**

La palette commandes est spécifique pour la face-avant. Elle contient les commandes et indicateurs exploités pour réaliser la face-avant. Les commandes et les indicateurs sont situés dans des sous-palettes en fonction du type de commande et d'indicateur. [49] (la figure 3.7 ci-dessous illustre la palette des commandes avec le détail de la sous-palette graph)

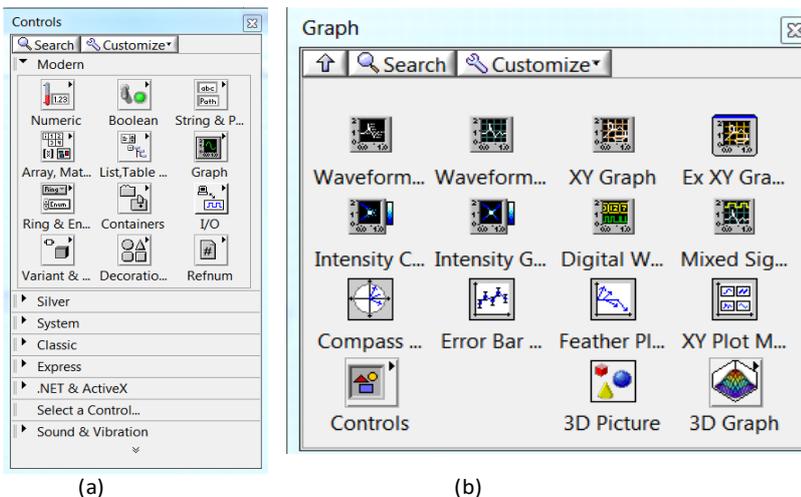


Figure 3.7: (a) Palette de commandes, Sous-Palette de commandes "Graph".

- **Palette des fonctions :**

C'est la palette qui se trouve au niveau du diagramme qui contient les VIs et les fonctions utilisées Pour construire le diagramme ou le code G. Les VIs et les fonctions sont situées dans des sous-palettes en fonction du type du VI ou de la fonction. [49] (la figure 3.8 ci-dessous illustre la palette des fonctions avec le détail de la sous-palette fonction numérique)

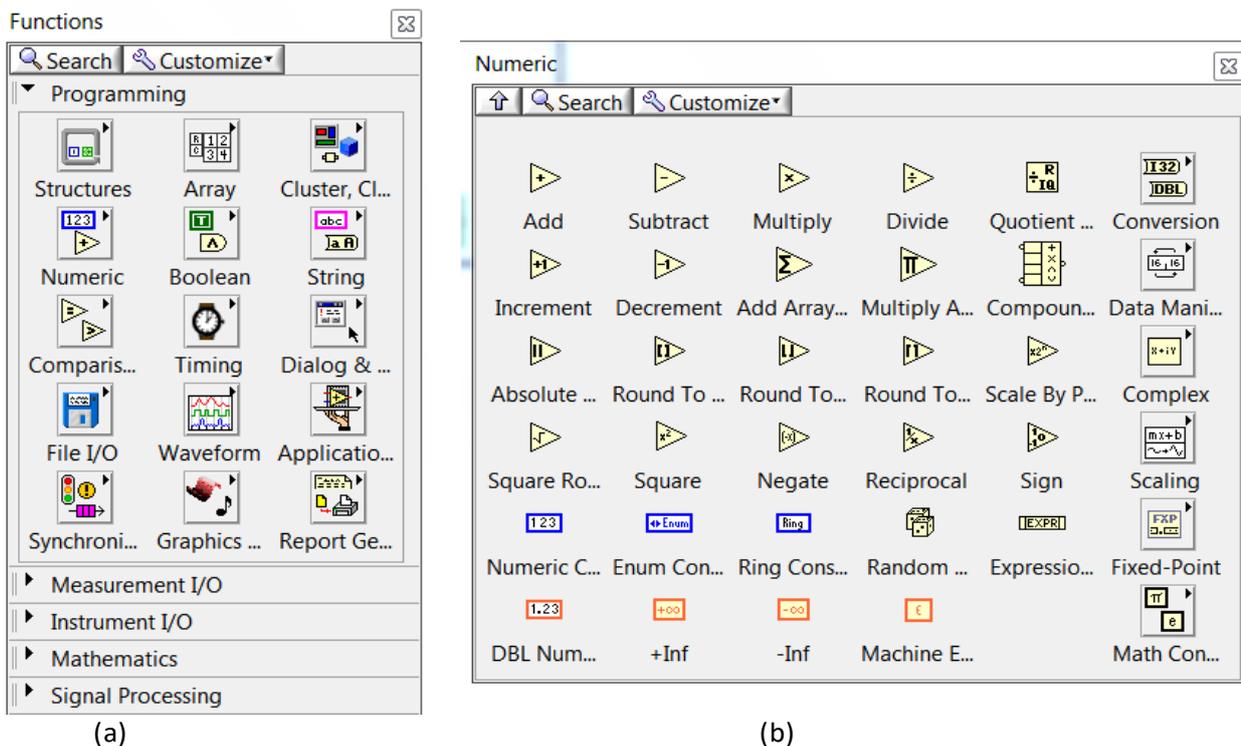


Figure 3.8:(a) Palette de fonctions, (b) Sous palette de fonction numérique.

- **Fenêtre d'aide contextuelle :**

La fenêtre d'aide contextuelle permet d'afficher des informations relatives au différents VI et fonctions, lorsqu'on déplace le curseur dessus. Elle comprend des informations relatives aux : VI, fonctions, constante, structure, palettes, propriétés, méthodes, composants et les éléments de la fenêtre explorateur de projet. Elle nous offre aussi la possibilité d'accès au **help LabView** en cliquant sur le bouton appropriée (un exemple de fenêtre d'aide contextuelle « context help » est illustré sur la figure 3.9 ci-dessous).

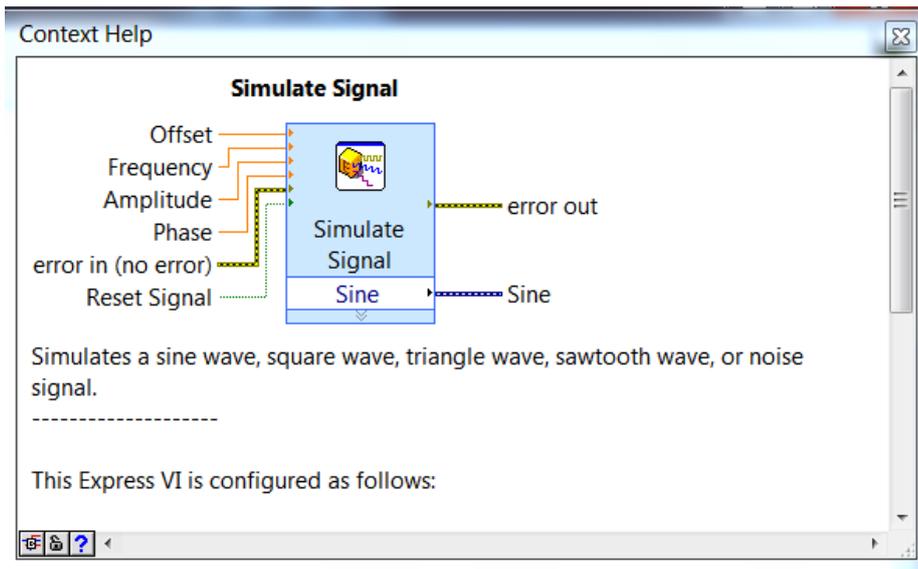


Figure 3.9: Fenêtre d'aide contextuelle.

La description des différentes fonctionnalités faites ci-dessus n'est pas exhaustive, bien d'autres fonctionnalités sont disponibles le lecteur peut les retrouver dans le help du logiciel « LabView ». Toutefois cette description a été faite pour permettre au lecteur de s'initier au logiciel LabView et comprendre notre réalisation.

Partie 02 : *Implémentation logicielle de l'audiomètre virtuel*

3.2.1. Introduction :

L'approche proposée pour réaliser l'audiomètre virtuel en exploitant le logiciel « Labview » est synthétisée sur l'organigramme schématisé sur la figure 3.10. Il s'agit d'abord de réaliser les différentes fonctionnalités pour générer les sons audibles avec la possibilité de varier les fréquences et leurs intensités. Les fréquences générées sont celles couramment utilisées en tests audiométriques ainsi que les variations de leurs intensités. Aussi, il est prévu de générer un bruit de masquage qui peut être mélangé aux fréquences audibles avec la possibilité d'ajuster son niveau. Lors d'un test audiométrique les fréquences générées avec les intensités correspondantes sont transmises au patient à travers un casque d'écoute, et le patient répond par une signalisation à travers un microphone. L'audiomètre Médical « *Sibel MedAC50* » disponible au laboratoire de recherche TOXICOMED est utilisé pour calibrer l'audiomètre virtuel proposé. La réalisation est implémentée sur un PC portable avec un casque d'écoute et un microphone.

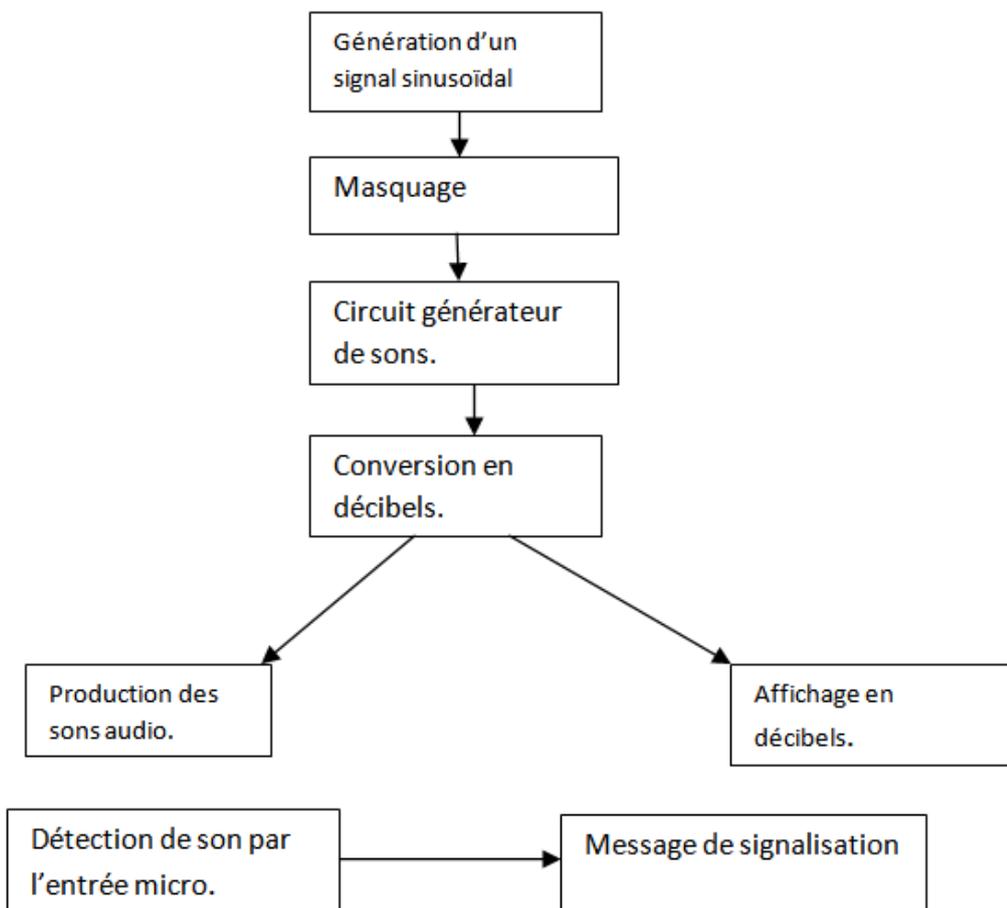


Figure 3.10 : organigramme de l'approche proposée pour la réalisation de l'audiomètre.

3.2.2. Bloc de génération des sons audibles

Les sons audibles sont générés par l'application d'un signal sinusoïdal à la carte son du PC. Toutefois pour finaliser cette action sous « LabView » différentes étapes de réalisation logicielle doivent être accomplies. Ces étapes sont : Génération d'un signal sinusoïdal et maskage par un bruit, la génération de sons audibles.

3.2.2.1. Génération du signal sinusoïdal et masquage:

La production de sons avec fréquences et intensités variables nécessitent la génération d'un signal sinusoïdal qui est obtenu par le virtuel instrument « **simulate signal Express VI** ». Ce VI doit être aussi correctement configuré en fonction des applications. Cette configuration est possible à travers la fenêtre « config simulate » voir figure 3.11 ci-dessous.

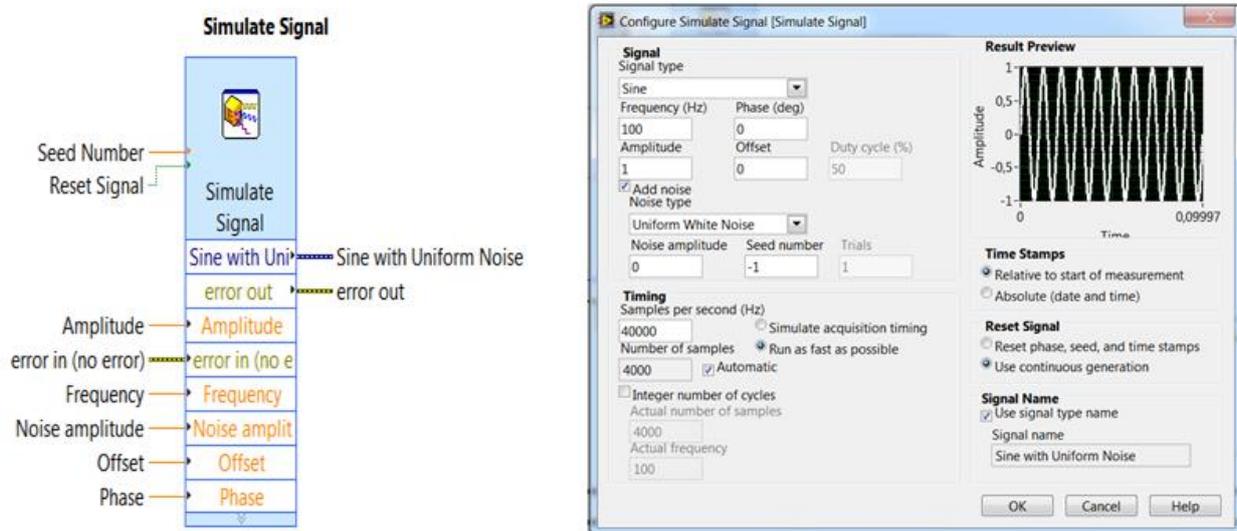


Figure 3.11: (a) VI "simulate signal" (b) configuration du bloc « simulate signal ».

Ce VI offre la possibilité de produire des signaux sinusoïdaux, carrés, triangulaires ou en dents de scies ainsi qu'un signal de bruit de différents types (bruit blanc uniforme, bruit blanc gaussien, bruit périodique aléatoire ...ect) qui peut lui être mélangé.

- Pour notre application audiométrique nous avons choisi d'utiliser un signal sinusoïdal en raison de son contenu fréquentiel qui contient une seule fréquence pure (la fréquence fondamentale) et qui représente la fréquence fixée .Le signal sinusoïdal permet une bonne exploration auditive et des résultats corrects et fiables.
- Afin de pouvoir effectuer le masquage nous avons choisi un bruit blanc uniforme (bruit utilisé en mesure audiométriques [51]) qui s'ajoute au besoin par l'utilisateur.
Pour permettre l'ajustement des différentes amplitudes et fréquences générées, le bloc « config simulate signal » (voir figure 3.11 (b)) est utilisé.
- Les amplitudes, les fréquences et l'amplitude du bruit sont contrôlées à partir de la face avant.
- La fréquence d'échantillonnage en tenant compte du théorème de Shannon (voir équation ci-dessous): Ainsi et sachant que la fréquence maximale utilisée pour les tests audiométriques est de 8000Hz, alors la fréquence d'échantillonnage est fixée à 40000Hz.

$$f_e \geq 2f_{max} \rightarrow f_e = 40000 \text{ Hz}; \text{ avec } (f_{max} = 8000 \text{ Hz})$$

- Le nombre d'échantillon est fixé automatiquement à 4000

3.2.2.2. Circuit de génération de sons audibles :

Quatre VI sont utilisés pour produire les sons nécessaires aux mesures audiométriques : « sound output configure », « sound output write », « sound output set volume » et « sound output clear ».

1. Sound output configure :

Le « sound output configure » (voir figure 3.12 (a)) sert à la configuration de données utilisées par le « sound output write » qui produit les sons audio. Dans notre travail nous avons réalisé la configuration illustrée sur la figure 3.12 (b).

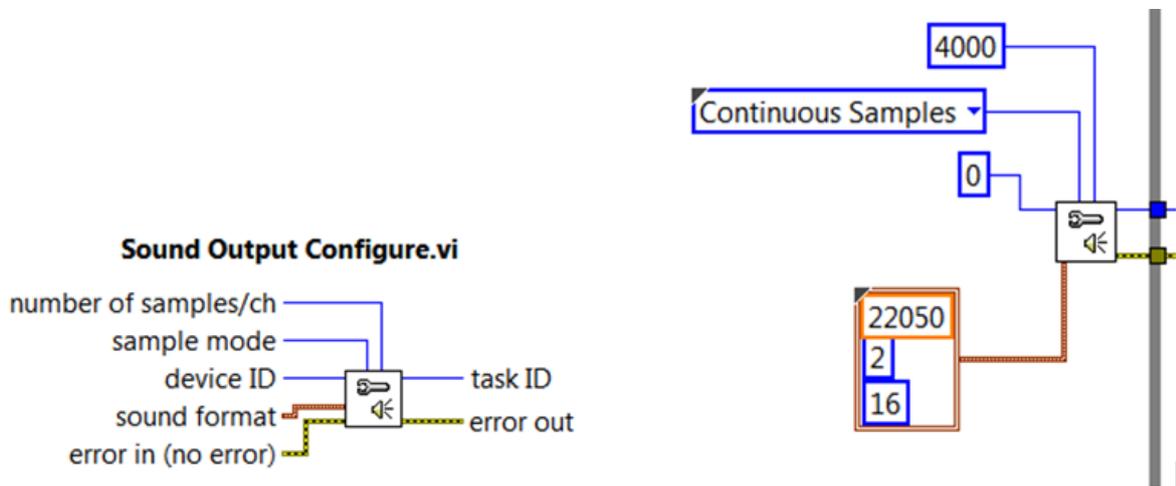


Figure 3.12: (a) « sound output configure » (b) configuration réalisée.

- **Sound format (format du son)** : définit les paramètres relatifs à la carte son utilisée pour la production du son ; la vitesse de lecture, le nombre de canaux et le nombre de bits dont les valeurs sont configurées de manière automatique selon la carte son du PC.

Vitesse de lecture = 22050 ; le nombre de canaux = 2 ; le nombre de bits = 16.

- **Sample mode (mode d'échantillonnage)** : cette commande permet la configuration de deux modes différents : le mode d'échantillon fini (finite samples) et le mode d'échantillon continu (continuous samples), en mode fini le « sound output write » génère le son jusqu'à ce que le nombre d'échantillon spécifiée en nombre d'échantillon /canal sera fini par contre en mode continu le son est généré plusieurs fois (en continu).
- **Device ID** : sert à configurer des périphériques d'entrée ou de sortie pour une opération sonore pour cela on doit sélectionner une valeur de 0 à n-1 où n est le nombre de périphériques d'entrée ou de sortie sur l'ordinateur. Dans notre configuration la valeur 0 est introduite compte tenu qu'on n'utilise pas de périphériques.
- **Les pates Task ID et error out** servent à relier le « sound output configure » à un autre VI.

2. « Sound output write », « Sound output set volume » et « Sound output clear »:

A travers ces trois fonctionnalités on peut transmettre et ajuster les sons en sortie sur le PC (casque d'écoute ou les speakers). En effet, le « sound output write » (voir figure 3.13 (a)) nous permet d'écrire des données (générer des sons) sur un périphérique de sortie audio, pour cela on va relier la sortie du générateur de signal « simulate signal » à l'entrée « data » de ce VI. Sa configuration doit être effectuée par le « sound output configure ».

Les pates *task ID out/in* & *error out/in*; sont utilisées pour le connecté avec d'autres VIs.

Le « *Sound output set volume* » (voir figure 3.13 (b)) va nous permettre d'ajuster le volume qu'on désire entendre à travers le périphérique de sortie audio pour cela l'entrée « volume » est reliée à la commande amplitude du générateur de signal.

Le VI « *Sound output clear* » est utilisé pour permettre l'arrêt du son et pour ramener la tâche à l'état par défaut.

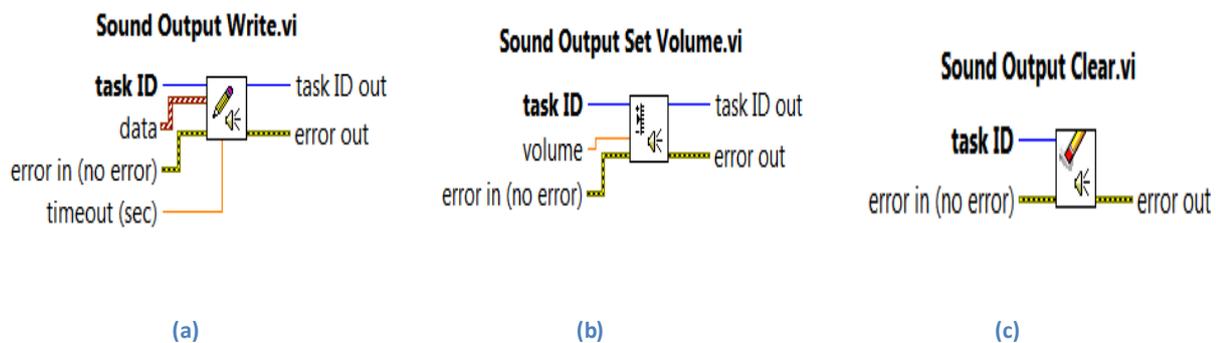


Figure 3.13: (a) « sound output write » (b) « sound output set volume ». (c) « Sound output clear ».

3.2.2.3. Conversion en décibels :

Compte tenu qu'en tests audiométriques les intensités des sons générés sont représentées pour le médecin en décibels, une conversion des amplitudes des sons en décibel est nécessaire. Cette conversion est faite pour des amplitudes utilisées en tests audiométriques et qui varient de [-10 – 120 dB]. Cette conversion est déterminée en exploitant l'équation ci-dessous.

$$X = 20 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right); \text{ avec } I: \text{intensité}, I_0: \text{intensité initiale}$$

Cependant compte tenu que les intensités I et I_0 en audiométrie correspondent respectivement aux intensités exerçant des pressions P et P_0 à l'intérieur de l'oreille où P correspond effectivement à la pression exercée par l'intensité du signal audible par contre P_0 correspond à la pression exercée par la pression de l'environnement. Cependant et compte tenu qu'on n'avait pas de dispositif pour mesurer l'intensité correspondante à l'environnement, l'audiomètre Médical

« *Slibel Med AC50* » a été utilisé pour déterminer ce I_0 et par conséquent réaliser un calibrage de notre dispositif virtuel. Le détail de ce calibrage est décrit dans les paragraphes qui suivent. La valeur de I_0 obtenue est de 1,122. Pour le I la valeur est obtenue à travers le bloc « Tone measurement ». Ce bloc sert à déterminer à travers sa configuration l'amplitude maximale, la fréquence ou encore la phase du signal injecté en son entrée. Dans notre cas il a été configuré pour déterminer l'amplitude maximale. L'amplitude obtenue

est divisé par I0 (intensité initiale) le résultat est injecté à l'entrée du bloc logarithme base 10. En sortie une multiplication par 20 est effectuée pour obtenir des amplitudes en décibels.

- Nous avons utilisé la structure « While Loop (boucle while) pour concéder à la répétition des blocs du code en exécution.

Le circuit permettant de réaliser cette conversion est illustrée sur la figure 3.14 ci-dessous.

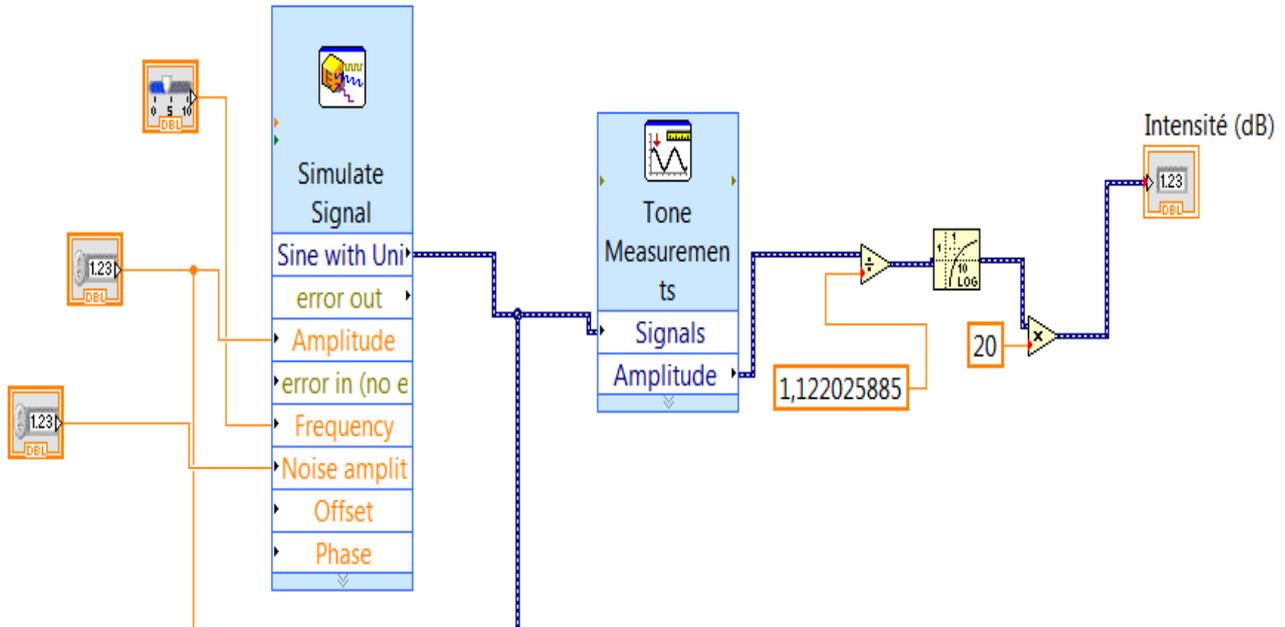


Figure 3.14: Circuit de la conversion en décibels.

3.2.3. Circuit de signalisation :

Ce circuit permet au patient de signaler au moment des tests audiométriques les fréquences et amplitudes entendues. Il est réalisé à travers trois blocs (voir figure 3.15 ci-dessous)

- Le 1^{er} bloc « Acquire Sound » sert à acquérir des données à partir de l'entrée micro du PC, sa configuration est automatique et une fois l'acquisition est terminée les données sont effacées.
- Le 2^{ème} bloc « Amplitude and level measurements » mesure l'amplitude pic à pic qu'on doit configurer sur sa boîte de configuration (voir figure 3.16 (a)).
- Le 3^{ème} bloc « prompt user for input » permet de configurer le message qui sera affiché lors de la signalisation (voir figure 3.16 (b)).

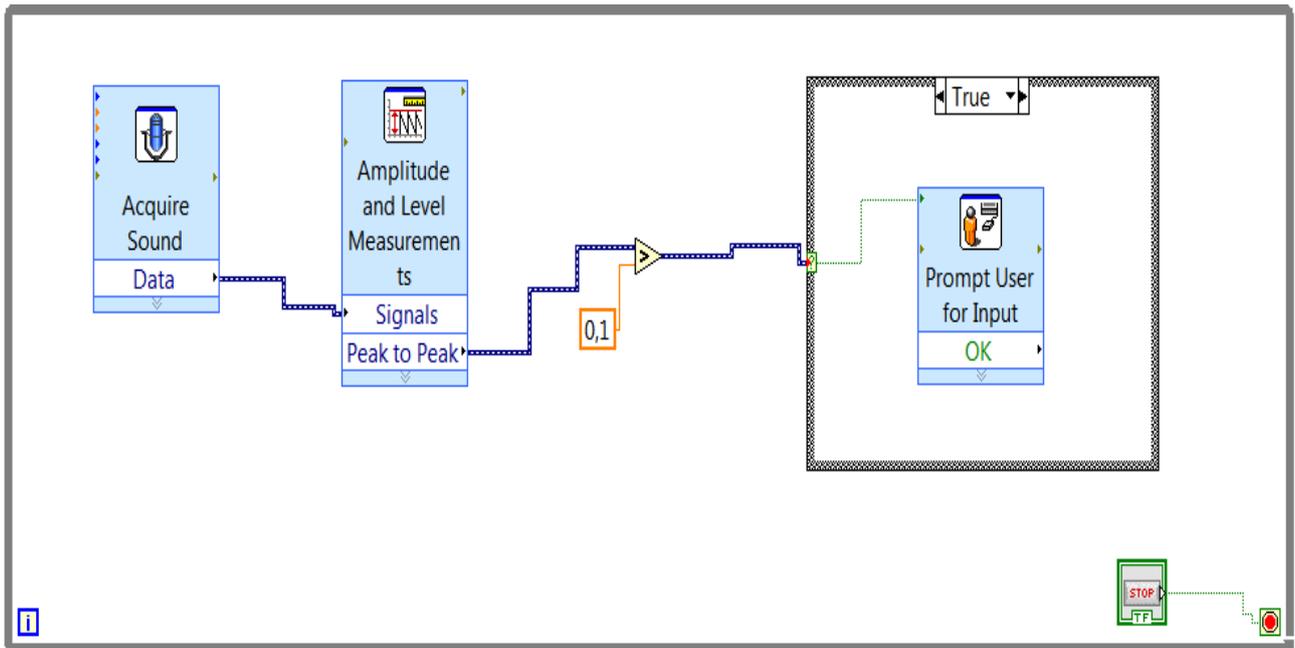
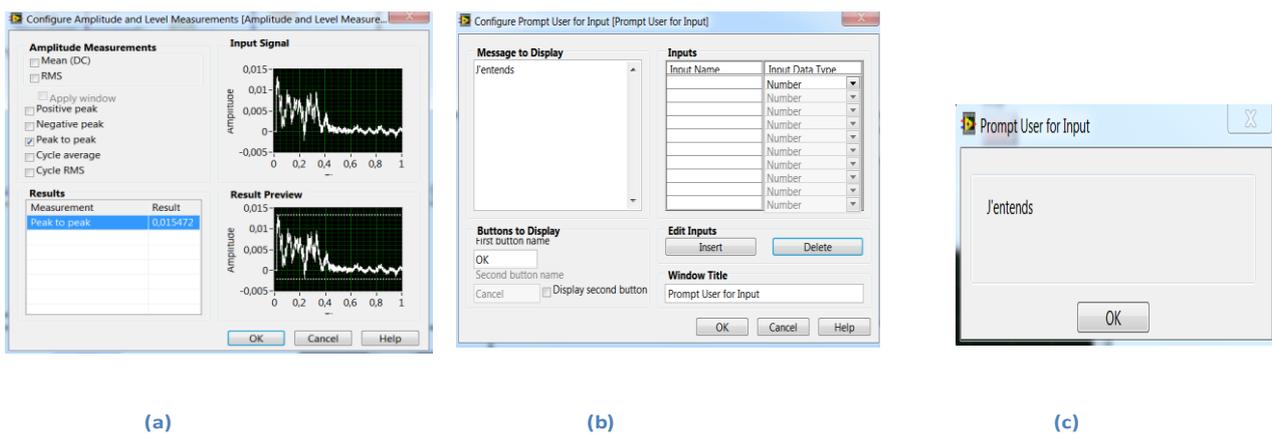


Figure 3.15: circuit de signalisation.



(a)

(b)

(c)

Figure 3.16 : (a) la configuration du VI "amplitude and level measurements" (b) configuration du "prompt user for input" (c) Affichage du message lors de la signalisation.

La procédure de signalisation permet d'afficher le message « j'entends ». Ce message est généré à travers la procédure suivante : lorsque le VI « Acquire Sound » Acquiert un signal (signalisation du patient), son amplitude est mesurée par le VI «Amplitude and level measurements » qui sera ensuite comparé à la valeur 0.01.Cette valeur a été choisie de manière empirique.

Si l'amplitude dépasse 0.01 —→ le message « j'entends » sera affiché.

Mais si l'amplitude est inférieure à 0.01 aucun affichage n'apparaît. Cette condition est réalisée par la structure « case structure » illustré dans la figure 3.17 ci-dessous.

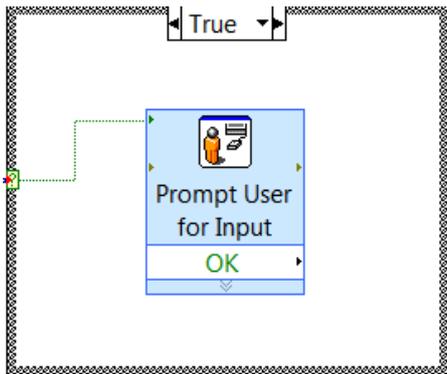
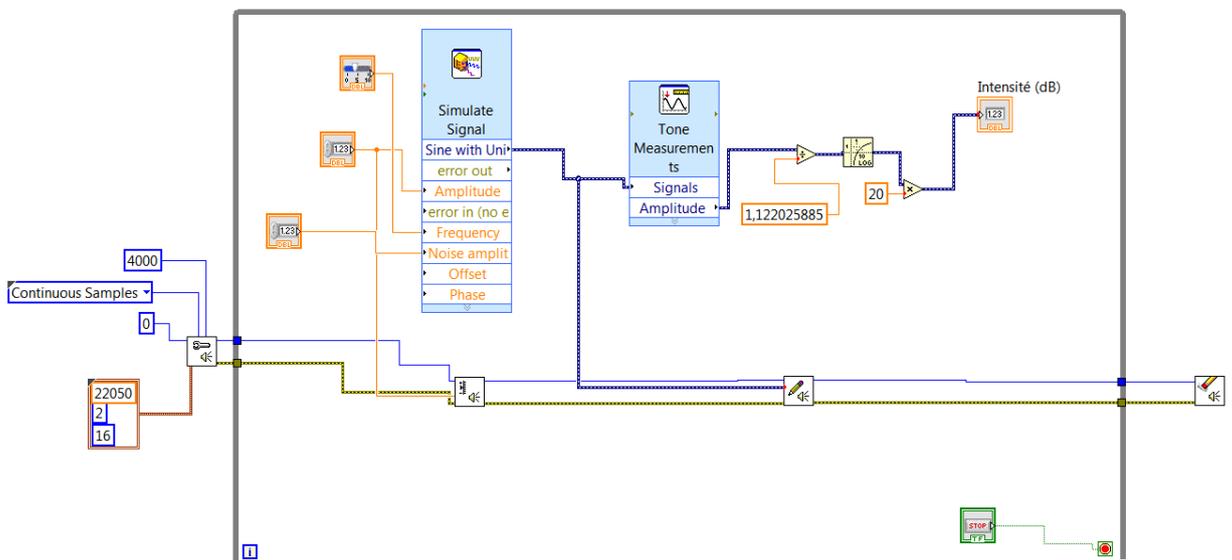
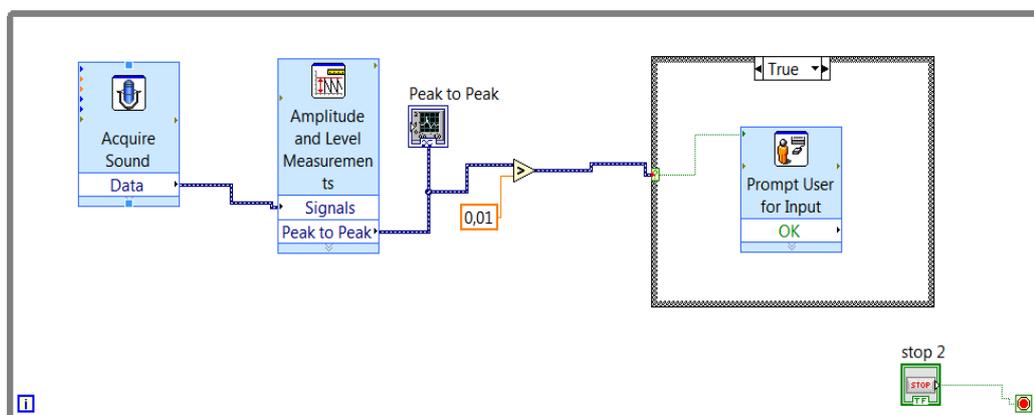


Figure 3.17 : case structure

- Nous avons utilisé la structure « While Loop (boucle while) pour concéder à la répétition des blocs du code en exécution.
Le circuit global de la réalisation logiciel de l'audiomètre virtuel est illustré sur la figure 3.18 ci-dessous.



« génération des sons audibles »



« Signalisation »

Figure 3.18 : Circuit global de la réalisation logicielle de l'audiomètre virtuel.

3.2.4. Mesures et calibrage :

Pour que la réalisation soit opérationnelle en milieu médical, il faut qu'elle soit calibrée. Ce calibrage est indispensable compte tenu que les sons générés présentent des amplitudes donc des puissances qui doivent être correctement mesurées et échelonnées selon les limites d'auditions d'un sujet à savoir de [-10 à 120dB]. Faute de ne pas avoir un sonomètre, on a procédé au calibrage de notre réalisation en utilisant l'audiomètre médical «*Slibel Med AC50*» disponible avec une cabine insonorisée au laboratoire de recherche TOXICOMED.

La méthodologie suivie est de faire plusieurs tests d'audiométrie à travers toutes les fréquences (125 250 500 1000 2000 4000 et 8000 Hz) d'abord avec l'audiomètre réalisé puis par l'audiomètre Médical. Les résultats seront comparés pour déterminer l'intensité *I0* qui sera utilisée pour la conversion en décibels des amplitudes générées dans l'audiomètre virtuel. Les mesures ont été réalisées sur l'oreille droite (OD) puis gauche (OG) et répétées dix fois (T1 à T10) pour le même sujet. Les résultats obtenus sont résumés sur les tableaux N°1, N°2, ci-dessous.

3.2.4.1. Mesures effectuée par l'audiomètre virtuel :

F(Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000
A(V)								
T1 OD	OD	7	7	6	6	6	9	16
	OG	8	8	6	4	6	4	15
T2 OD	OD	8	8	9	4	4	6	11
	OG	7	7	4	6	4	4	16
T3 OD	OD	10	8	5	6	6	5	20
	OG	9	9	6	7	4	2	10
T4 OD	OD	9	6	8	4	4	4	9
	OG	9	6	4	4	4	4	14
T5 OD	OD	11	8	7	6	6	6	16
	OG	7	4	4	4	4	4	16
T6 OD	OD	8	8	5	6	6	6	15
	OG	6	7	6	6	6	4	21
T7 OD	OD	9	6	8	4	4	6	20
	OG	7	6	6	6	6	4	20
T8 OD	OD	8	8	9	4	7	4	15
	OG	8	7	6	4	6	2	16
T9 OD	OD	8	8	7	4	4	2	12
	OG	8	6	6	4	4	4	16
T10 OD	OD	8	8	9	4	6	6	12
	OG	7	7	6	6	6	4	16

Tableau 3.3: Résultats des tests effectués par l'audiomètre virtuel.

3.2.4.2. Mesures effectuées par « Sibel Med AC50 » :

F(Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000
A (dB)								
T1 OD OG		10	10	10	5	5	5	-5
		10	10	10	5	10	-5	5
T2 OD OG		10	10	10	10	15	5	5
		0	10	10	0	10	0	5
T3 OD OG		15	15	20	15	5	5	10
		10	15	10	5	15	5	5
T4 OD OG		25	20	25	15	15	10	15
		10	10	10	10	15	5	5
T5 OD OG		10	10	10	5	5	5	-5
		10	10	10	5	10	-5	5
T6 OD OG		5	10	10	5	5	5	-5
		0	10	10	0	10	0	5
T7 OD OG		10	10	10	15	5	5	5
		10	15	10	5	15	5	5
T8 OD OG		25	20	25	15	15	10	15
		10	10	10	10	15	5	5
T9 OD OG		10	10	10	5	5	5	-5
		10	10	10	5	10	-5	5
T10 OD OG		10	10	10	10	15	5	5
		0	10	10	0	10	0	5

Tableau 3.2: Résultats des tests effectués par l'audiomètre médical.

En exploitant les résultats obtenus et résumés sur respectivement les tableaux N°1 et N°2, on procède à la détermination d'I0. Ainsi, par exemple

Pour 125 Hz :

T1 (V) : 7V par identification T1 (dB) : 10 dB

Le calcul de I0 est effectué par la formule suivante :

$$X(dB) = 20 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

$$X(dB) = 20(\log I - \log I_0)$$

$$X = 20 \log I - 20 \log I_0$$

$$\log I_0 = \frac{\log I}{X}; \log I_0 = \frac{\log(7)}{10}; I_0 = 10^{0.084509804}$$

$$I_0 = 1.214814044 (V)$$

De la même manière on calcule les I0 pour les 10 tests sur les deux oreilles. La valeur de I0 (I0moy) utilisée pour le calibrage de l'audiomètre virtuel est la moyenne arithmétique des moyennes des différents I0 obtenus pour l'oreille Droite et l'oreille Gauche.

Le tableau N°3 ci-dessous résume les valeurs obtenues de la moyenne des I0 calculés pour chaque test :

I0 moy/ oreille droite		I0 moy/ oreille gauche	
T1	1.208619762	T1	1.213688004
T2	1.093589289	T2	1.170736918
T3	1.147163455	T3	1.187103542
T4	1.093527093	T4	1.174691024
T5	1.154957347	T5	1.148698355
T6	1.087599759	T6	1.20242541
T7	1.093195054	T7	1.166200116
T8	1.096249054	T8	1.141424773
T9	1.206450304	T9	1.19306292
T10	1.091808914	T10	1.202425481
I0moy(OD) = 1.091944022		I0moy(OG) = 1.152107748	

Tableau 4.3: les valeurs moyennes I0 moy des I0 obtenus à travers les différents tests.

Au vu de ces résultats le I0 utilisé pour le calibrage de l'audiomètre virtuel est fixé à la moyenne des deux valeurs de I0 moy (OD et OG), il est alors

$$I0 = 1.122025885$$

Le VI implémenté pour cette conversion est illustré sur la figure 3.18 ci-dessous :

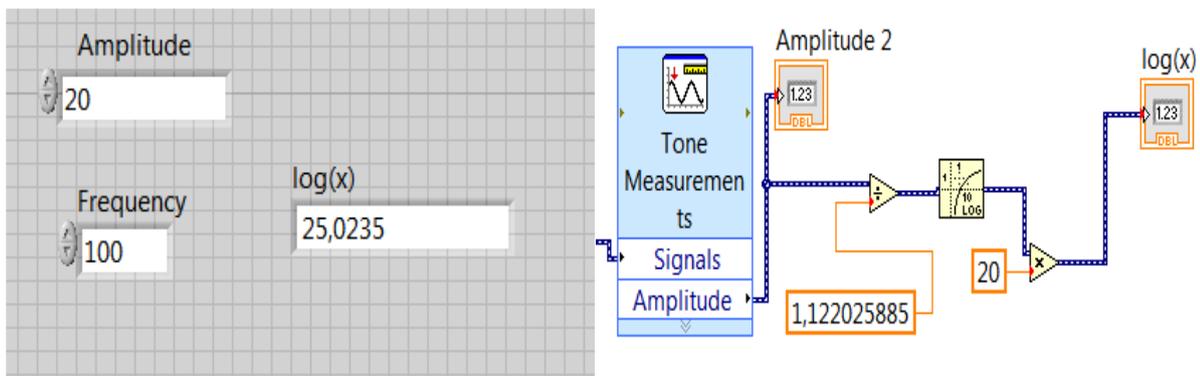


Figure 3.19 : circuit de conversion en décibel.

Lorsque la valeur 20 est ajoutée à la commande amplitude, le circuit de conversion va prendre cette valeur et la divise d'abord par I0 ensuite elle sera injecté au logarithme base 10 à la sortie on obtient $\log(20)$ qui est multiplié par 20, le résultat de cette conversion est affiché sur la face avant qui est égale à 25.0235 pour cela une vérification du résultat s'impose :

$$X = 20 \times \log\left(\frac{20}{1.122025885}\right); X = 25.02054239$$

On conclue que les résultats obtenus par le calcul de I0 sont acceptables. L'audiomètre virtuel affiche alors les différentes valeurs en décibels dédiées au test.

3.2.4.3. Calcul des valeurs utilisées par l'audiomètre :

On calcule les valeurs en volts qui correspondent aux valeurs en décibels variant de -10 à 120 dB utilisées en test audiométrique, la méthode de calcul est la suivante :

$$X = 20 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 10dB; \log(I) - \log(I_0) = \frac{1}{2}$$

$$\log(I) = \frac{1}{2} + \log(1.122025885); I = 10^{0.5500028792}; I = 3.54815739$$

De même on calcule le reste des valeurs

Valeurs en décibels	Valeurs en volts
-10	0.354815739
-5	0.6309615231
0	1.122025885
10	3.54815739
15	6.309615231
20	11.22025885
25	19.95275529
30	35.4815739
35	63.10608907
40	112.2025885
45	119.5275529
50	354.815739
55	630.9615231
60	1122.02885
65	1995.275529
70	3548.15739
75	6309.615231
80	11220.25885
85	19952.75529
90	35481.5739
95	63096.15231
100	112202.5885
105	199527.5529
110	354815.739
115	630961.5231
120	1122025.885

Tableau 3.4: les valeurs utilisé par l'audiomètre virtuel.

3.2.5. Présentation de l'interface graphique de l'audiomètre virtuel et procédure de test :

L'interface graphique développée de l'audiomètre virtuel mise à disposition pour l'utilisateur est illustrée sur la figure 3.20 et 3.21 ci-dessous.

La face-avant :

Cette fenêtre représente l'interface utilisateur que l'opérateur en a accès pour la réalisation de mesures audiométriques, elle comporte :

- Nom, âge et sexe du patient.
- Une commande de fréquences.
- Une commande d'amplitudes.
- Une commande d'amplitudes de bruit de masquage.
- Affichage des amplitudes en décibels.
- Commande stop pour arrêt.

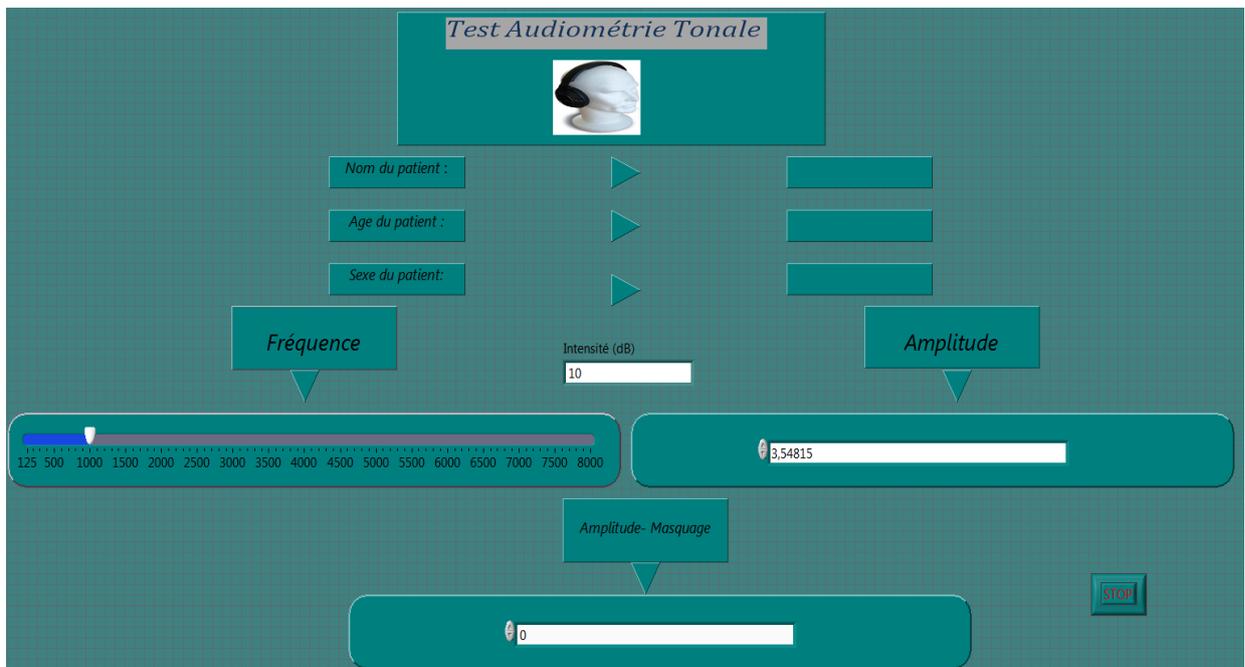


Figure3.20: l'interface utilisateur de l'audiomètre virtuel.

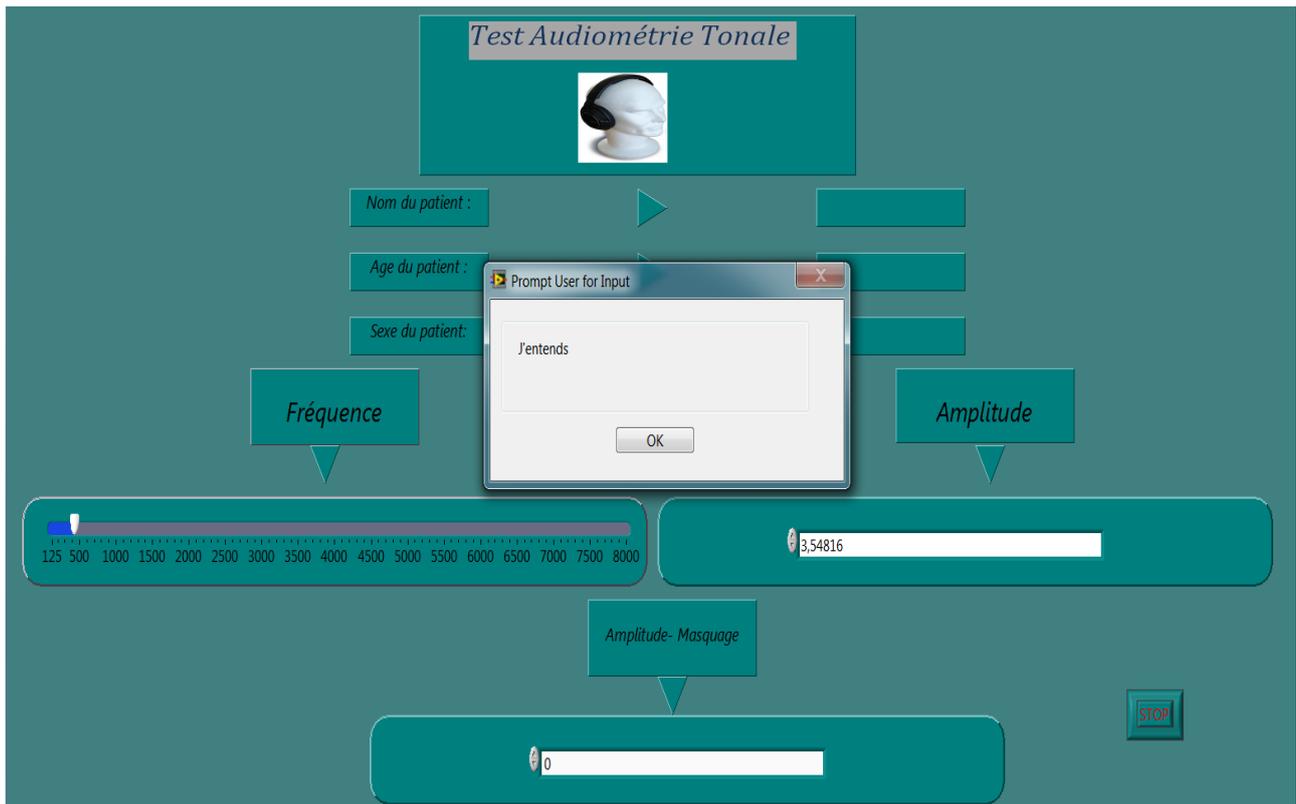


Figure 3.21 : Perception du son par le sujet.

3.2.6. Procédure du test :

L'examen audiométrique est effectué selon la procédure illustrée sur la figure 3.22 ci-dessous.

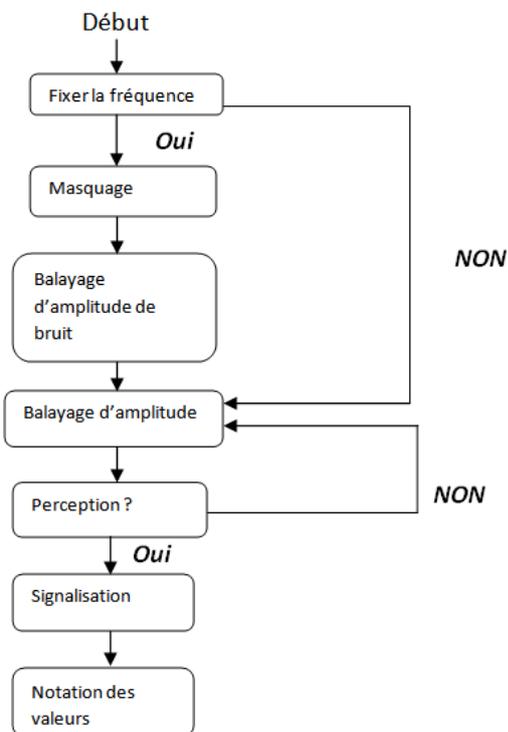
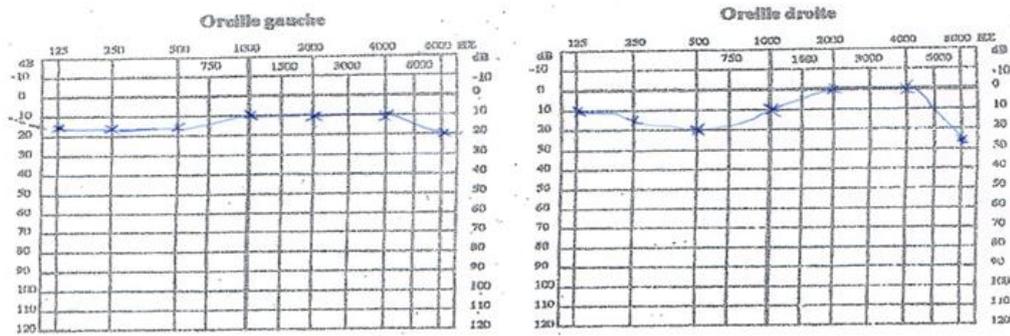


Figure 3.22 : procédure de test audiométrique en utilisant l'audiomètre Virtuel

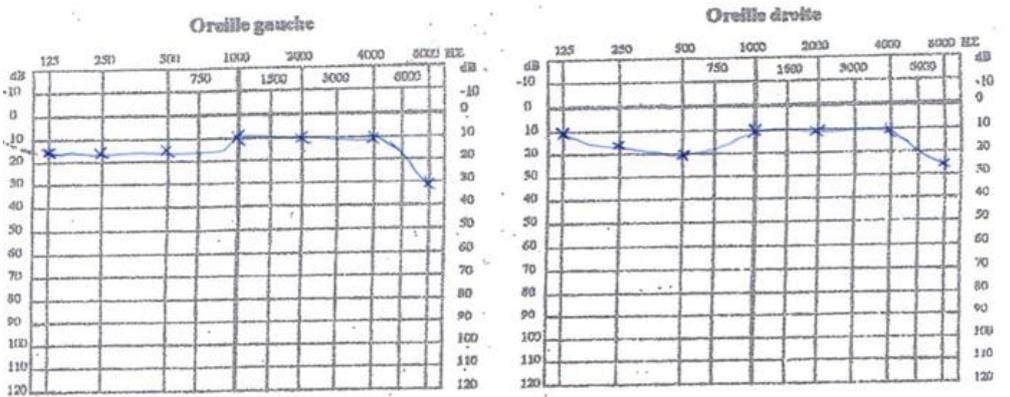
3.2.7. Mesures effectuées par l'audiomètre virtuel :

Cinq mesures d'audition ont été effectuées respectivement par l'appareil *sibel med AC50*, et l'audiomètre virtuel réalisé, les résultats obtenus sont représentés par les figures 3.23 à 3.28 ci-dessous :

Test 1 :



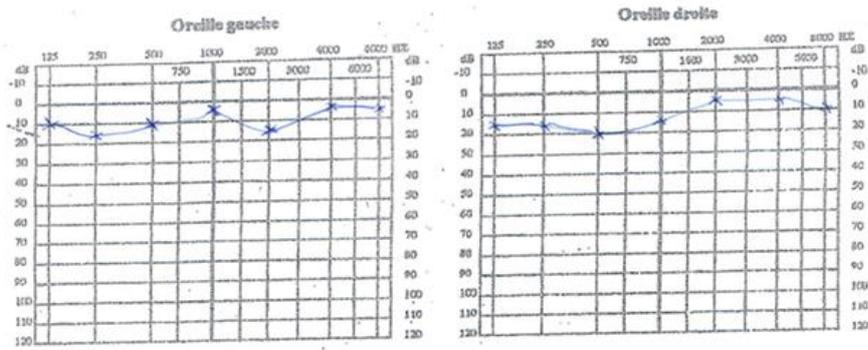
(a)



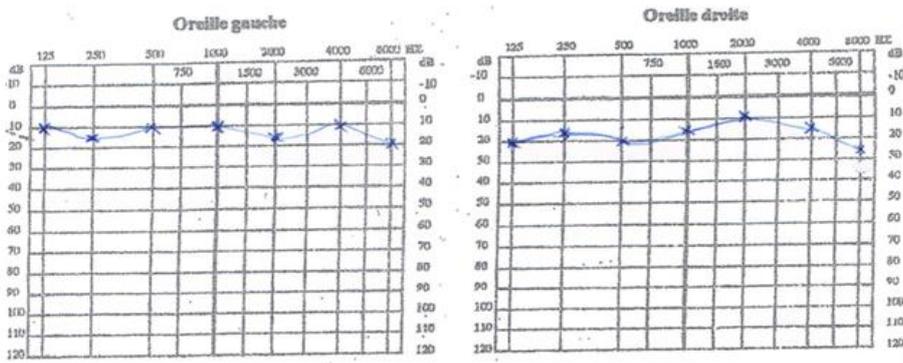
(b)

Figure 3.23: Résultat su test N° 1 (a) audiomètre médicale (b) audiomètre virtuel.

Test 2 :



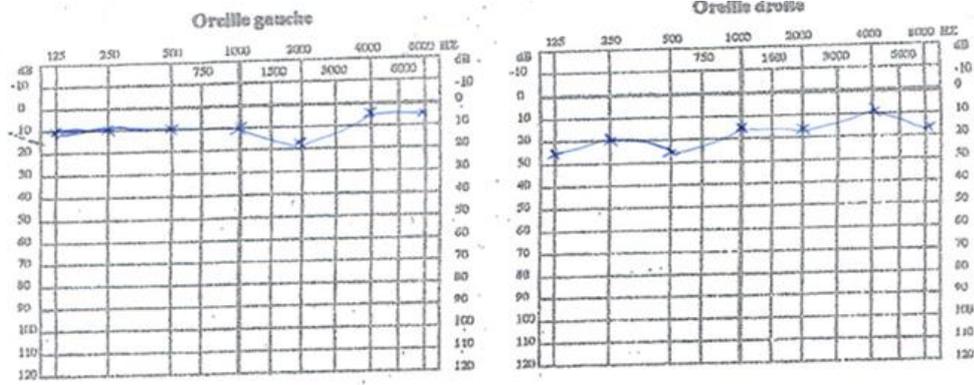
(a)



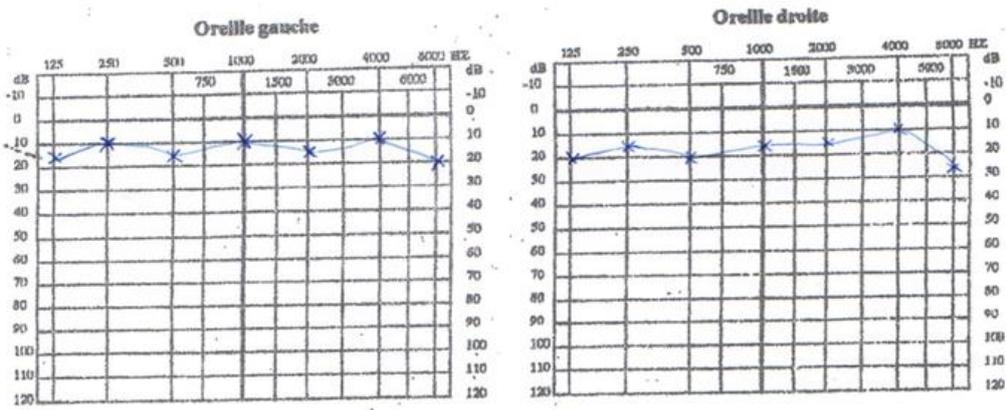
(b)

Figure 3.24: Résultat su test N° 2 (a) audiomètre médicale (b) audiomètre virtuel.

Test 3 :



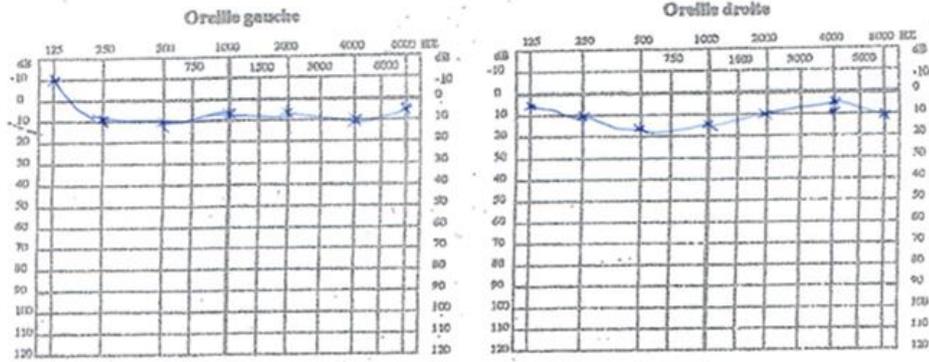
(a)



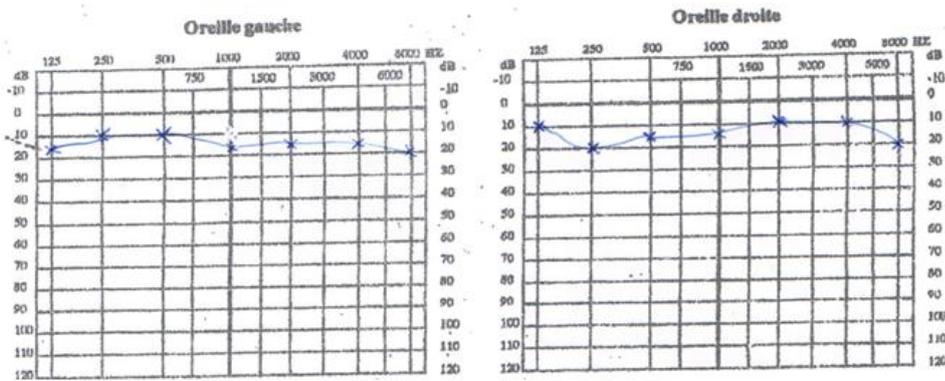
(b)

Figure 3.25: Résultat su test N° 3 (a) audiomètre médicale (b) audiomètre virtuel.

Test 4 : avec masquage



(a)



(b)

Figure 3.26: Résultat su test N° 4 (a) audiomètre médicale (b) audiomètre virtuel.

Test 5 : avec masquage

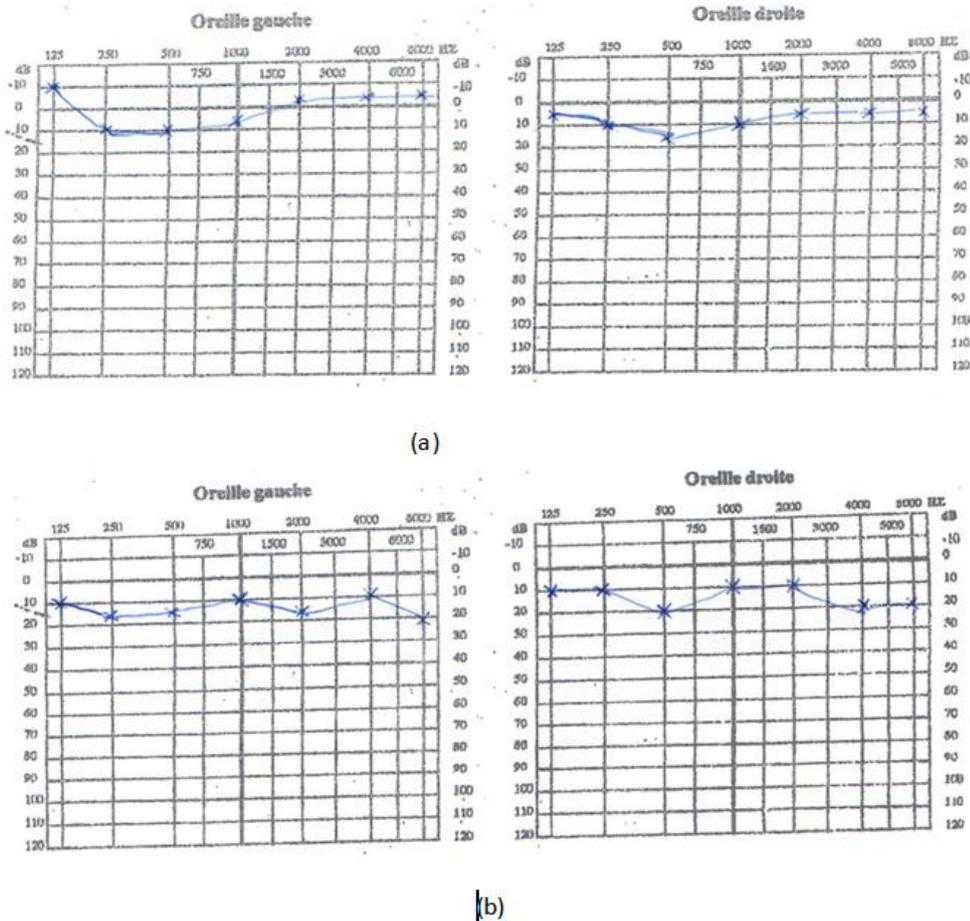


Figure 3.27: Résultat su test N° 5 (a) audiomètre médicale (b) audiomètre virtuel.

Après avoir étudié les cinq mesures réalisés et en tenant compte des différentes erreurs de mesure du à l'aspect subjectif de l'examen (c'est-à-dire que les résultats dépendent des réponses du sujet et sa coopération), de plus des erreurs du aux différents blocs de l'implémentation logicielle, on conclut que les mesures obtenus par l'audiomètre virtuel sont fiables et conforme aux normes médicaux.

3.2.8. Conclusion :

Dans ce dernier chapitre, nous avons présenté deux parties, la première était consacré à la présentation de l'outil utilisé pour le développement de notre application où une présentation détaillé du logiciel « LabView » a été fait.

La deuxième partie concerne l'implémentation logicielle de l'audiomètre virtuel où nous avons détaillé les différentes étapes de réalisation, ainsi que l'étude des mesures de calibration et d'évaluation.

Notre audiomètre virtuel a réussi à généré les sons de fréquences et intensité variables ainsi que le bruit de masquage selon les normes médicaux et cela après l'avoir comparé à l'audiomètre classique *sibel medAC50* du laboratoire *Toxocomed*.

Conclusion générale :

Ce projet de fin d'étude a été consacré à la réalisation d'un audiomètre virtuel capable d'effectuer le test d'audition tonale par le biais d'une interface utilisateur graphique simple à manier. L'environnement de réalisation logiciel utilisé était le « LabView ».

Pour décrire notre réalisation, une étude détaillée sur l'anatomie et la physiologie de l'oreille a été d'abord présentée. Cette étude était suivie par une description illustrative des différentes techniques d'exploration auditive mettant en exergue les explorations objectives et subjectives. Dans notre cas on était intéressé aux explorations subjectives à savoir l'audiométrie instrumentale. En fait, il a été question de développer et réaliser un audiomètre virtuel, qui à travers une réalisation logicielle embarquée sur un PC, les différentes fonctionnalités d'un audiomètre (instrument) médical pouvaient être proposées.

En effet, la réalisation logicielle sous LabView proposée dans ce projet nous a permis de faire des tests audiométriques comparables à ceux d'un dispositif médical. En effet, après que le grand challenge de calibration ne soit levé, les résultats obtenus montrent une corrélation élevée avec ceux obtenus par l'audiomètre médical. L'audiomètre médical utilisé pour calibrer notre audiomètre virtuel et pour valider les résultats obtenus était le « *SIBELMED AC50* » avec la cabine insonorisée disponibles au laboratoire de recherche TOXICOMED de l'université de Tlemcen. Toutefois, quoique les résultats obtenus sont prometteurs, beaucoup reste à faire principalement sur l'affichage des résultats et le tracé des audiogrammes de manière automatique et non pas manuelle. Après quoi A l'interface graphique utilisateur doit être perfectionné pour ajouter ces nouvelles fonctionnalités.

Référence :

- [1] Mehmet Cem Catalbas and Hasan Guler. « Design and Implementation of Software Based Audiometer System », Département de l'ingénierie électrique et électronique. Université Firat, Elazig, Turquie. *June 2017*
- [2] A. Soto Otálora, L. A. Guzmán Trujillo, F. E. Calderón Anaya and O. Suaza Medina. “Design and implementation of an audiometric system capable of monitoring neuronal activity related to the patient's hearing”. Program of Electronic Engineering, Universidad Surcolombiana, Neiva, República de Colombia, *4 mars 2011*
- [3] Fayçal.Ykhlef, Wahiba.Benzaba, Ratiba.Boutaleb, Lotfi .Bendaouia, Yacine. Boucetta, Hamid. Meraoubi. « Développement d'un Audiomètre sur PC pour le dépistage des pertes auditives ». Centre de Développement des Technologies Avances Baba Hacen Alger, Algérie
- [4] Kang-Ho Lee, Dongkyu Lee, Ohwon Kwon, Chul-Hee Choi « Development of Air Conduction Audiometer for Basic Hearing Screening”; 2016
- [5] Wen-Huei Liao, Shuenn-Tsong Young, Chiang-Feng Lien and Shyh-Jen Wang. “An audiometer to monitor progressive hearing change in school-aged children”. Department of Surgery, Veterans General Hospital Taipei, National Yang- Ming University, Taipei, Taiwan, Republic of China, *16 February 2011*
- [6] Jacobs PG, Silaski G, Wilmington D, Gordon S, Helt W, McMillan G, Fausti SA, Dille M “Development and Evaluation of a Portable Audiometer for High-Frequency Screening of Hearing Loss from Ototoxicity in Homes/Clinics”. National Center for Rehabilitative Auditory Research, Portland VA Medical Center, Portland, OR 97239, USA, 2012
- [7] <http://www.resonance-audiology.com/en/>
- [8] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17999612>
- Chapitre 01 :**
- [9] <https://www.oreillemudry.ch/loireille-moyenne/>
- [10] <https://www.oreillemudry.ch/66/>
- [11] S.H Nguyen/Redha Bourouina, « manuel d'anatomie et physiologie », Edition LAMARRE-2010
- [12] <http://www.journee-audition.org/le-son.html>

[13] <https://www.oreillemudry.ch/les-voies-auditives-centrales/>

[14] <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/biologie-axone-2535/>

[15] https://www.google.dz/search?q=la+masto%C3%AFde&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjOjrrwktDbAhVHvRQKHxEtBdUQ_AUICigB&biw=1280&bih=627#imgrc=CdiWFo69By4XXM:

[16] https://www.google.dz/search?biw=1280&bih=627&tbm=isch&sa=1&ei=4ssgW6iiBIKzUcrsjfAK&q=labyrinthe+osseux&oq=la&gs_l=img.3.1.35i39k112j0l8.316546.316741.0.319842.2.2.0.0.0.118.222.0j2.2.0...0...1c.1.64.img..0.2.220...0i67k1.0.9Yo73HtUjZo#imgrc=w7344qMV7IF3GM:

[17] acfos (action connaissance formation pour la surdité) « c'est quoi la surdité »
<http://www.acfos.org/publication/autresp/cestquoilasurdite.pdf>, edition 2008

Chapitre 02 :

[18] <https://www.oreillemudry.ch/1%E2%80%99impedancemetrie/>

[19] <https://www.oreillemudry.ch/les-potentiels-evoques-auditifs-pea/>

[20] [http://www.medecine.ups-](http://www.medecine.ups-tlse.fr/dcem3/module15/294%20(2)%20%20Explorations%20fonctionnelles%20en%20otologie.pdf)

[tlse.fr/dcem3/module15/294%20\(2\)%20%20Explorations%20fonctionnelles%20en%20otologie.pdf](http://www.medecine.ups-tlse.fr/dcem3/module15/294%20(2)%20%20Explorations%20fonctionnelles%20en%20otologie.pdf)

[21] https://www.google.dz/search?q=tympanogramme&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEWjPsvW2_PraAhUIShQKHbIbA1QQ_AUICigB&biw=1024&bih=662#imgrc=HE_yutXunmmkcM:

[22] https://www.google.dz/search?q=tympanogramme&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEWjPsvW2_PraAhUIShQKHbIbA1QQ_AUICigB&biw=1024&bih=662#imgrc=_AN39eXnOB9XDM

[23] https://www.google.dz/search?q=oto%C3%A9mission+acoustique&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiTpviVlfvaAhXHUBQKHe7DCisQ_AUICigB&biw=1024&bih=662#imgrc=AoffoBeC41Eo9M

[24] https://www.google.dz/search?q=electrocochl%C3%A9ographie&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwibm7mrm_vaAhVKnrQKHxNAakQ_AUICigB&biw=1024&bih=662#imgdii=Dffs6HXJhP0RKM:&imgrc=jPYhJFpLlrDUKM

[25] <http://www.cochlea.eu/exploration-fonctionnelle/methodes-objectives/voies-et-centres>

[26] <http://www.cochlea.eu/exploration-fonctionnelle/methodes-objectives/voies-et-centres>

[27] http://anso.pagesperso-orange.fr/page_explorations.htm

[28] <http://tpeoreilleetson.e-monsite.com/pages/a-surdite/b-l-acoumetrie.html>

[29] http://anso.pagesperso-orange.fr/page_explorations.htm

[30] https://www.google.dz/search?q=%C3%A9preuve+de+rinne&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiUz536iIPbAhXDUBQKHAKHCjcQ_AUICigB&biw=1014&bih=642#imgrc=-9ysKzEm9LKTYM

[31] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Audiom%C3%A8tre>

[32] https://fr.wikipedia.org/wiki/Bruit_blanc

[33] « audiométrie fondamentale » http://www.sfaudiologie.fr/documents/GBPAA1_2.pdf, 13 septembre 2006

[34] Samir Houalef « Assourdissement en audiométrie », médecin résident en ORL at CHU Tlemcen, 22 mars 2015 <https://fr.slideshare.net/DrHSMir/assourdissement-en-audiomtrie-2>

[35] <http://www.cochlea.eu/exploration-fonctionnelle/methodes-subjectives/audiometrie-vocale>

[36] <http://www.cochlea.eu/exploration-fonctionnelle/methodessubjectives/audiometrie-vocale>

[37] <https://www.oreillemudry.ch/1%E2%80%99audiometrie/>

[38] <http://www.cochlea.eu/exploration-fonctionnelle/methodes-subjectives>

[39] <http://www.cochlea.eu/explorationfonctionnelle/methodessubjectives/audiometrie-vocale>

[40] <http://www.cochlea.org/quels-traitements-aujourd-hui>

[41] <http://fr.medwow.com/med/audiometer/sibelmed/ac50-c/8360.model-spec>

[42] <http://www.medicaexpo.fr/prod/sibelmed/product-74782-492190.html>

[43] <https://otometrics.natus.com/fr-fr/produits/madsen-astera2>

[44] <http://www.electronica-medical.com/audiometre-auditest-c2x23300398>

[45] CLINICAL AUDIOMETER SIBELMED AC50 (520-600-MU2), USER'S MANUAL

[46] <http://www.otometrics.com/fr-fr/solutions/audiometres/madsen-astera-2#top>.

[47] <https://www.orlstore.fr/8035-audiometre-electronica-auditest-depistage-manuel-.html>.

[48] <http://docplayer.fr/53173648-L-audiometrie-tonale-dr-k-khamassi-orkirurgie-cervico-faciale-hcn.html>

<https://www.passeportsante.net/fr/Maux/examens-medicaux-operations/Fiche.aspx?doc=examen-impedancemetrie-quels-resultats-peut-on-attendre-d-une-impedancemetrie->

[http://www.medecine.ups-tlse.fr/dcem3/module15/294%20\(2\)%20-%20Explorations%20fonctionnelles%20en%20otologie.pdf](http://www.medecine.ups-tlse.fr/dcem3/module15/294%20(2)%20-%20Explorations%20fonctionnelles%20en%20otologie.pdf)

<http://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/%C3%A9lectrocochl%C3%A9ographie/12715>

Chapitre 03 :

[49] « LabView, principe de base », http://www.ni.com/pdf/manuals/374029b_0114.pdf, Aout 2006

[50] :file:///D:/document%20yasmina/tutoriel.pdf

[51] catalogue audiomètre : « CLINICAL AUDIOMETER SIBELMED AC50” (520-600-MU2), USER'S MANUAL.

Résumé :

L'audiomètre est un dispositif médical universellement utilisée pour la mesure de l'acuité auditive de chaque personne et évaluer leurs seuil d'audition ; cet appareil est utilisé en service ORL, en médecine de travail et en médecin scolaire.

Notre objectif à travers ce projet de fin d'étude est de réaliser un audiomètre virtuel sur micro-ordinateur en exploitant sa carte son et le logiciel « LabView » pour la réalisation d'une interface graphique audiométrique interactive. Le principe consiste à générer à travers la carte son des sons audibles à des fréquences et intensités variables ainsi qu'un bruit de masquage conforme à la norme médicale d'audition. Ces sons seront à disposition de l'utilisateur pour l'exploration auditive en conduction aérienne d'un patient.

Le calibrage et l'évaluation de l'audiomètre virtuel est effectuée par des tests pratiques en exploitant l'audiomètre médical **SIBELMED AC50** et la cabine insonorisé disponible au niveau du laboratoire de recherche **TOXICOMED** (faculté de médecine université de Tlemcen). Les résultats obtenus montrent une corrélation élevée entre les tests audiométriques réalisés par l'audiomètre virtuel et l'audiomètre médical.

Mot clés : audiomètre, seuil d'audition, carte son, LabView, interface graphique, sons audible, bruit de masquage.

Abstract:

The audiometer is a medical device universally used to gauge, measure and evaluate the hearing threshold of each person; this device is used in "ORL" service, working medicine and school medicine.

Our work is targeted towards realizing a virtual audiometer on a computer by exploiting its "sound card" and the software "LabView" for the implementation of an interactive audiometric graphical interface. The basic principle of our study consists in generating through the "sound card" audible sounds at variable frequencies and intensities as well as masking noise in accordance with the medical standard of hearing. These sounds will be available to the user for audiometric exploration in air conduction of the patient.

Calibration and evaluation of the virtual audiometer is carried out by practical tests using the **SIBELMED AC50** medical audiometer and the soundproof cabin available at the research laboratory **TOXICOMED** (Faculty of Medicine University Tlemcen). The results obtained show a high correlation between audiometric tests performed by the virtual audiometer and the medical audiometer.

Keywords: audiometer, hearing threshold, sound card, LabView, graphical interface, audible sounds, masking noise.

التلخيص:

"مقياس السمع" هو جهاز طبي يستخدم عالميا لقياس وتقييم عتبة السمع لكل شخص. يستخدم هذا الجهاز في خدمة "قسم الانف و الأذن والحنجرة" طب العمل والطب المدرسي. يستهدف عملنا تحقيق مقياس سمعي افتراضي على الكمبيوتر من خلال استغلال "بطاقة الصوت" الخاصة به وبرنامج "LabView" لتنفيذ واجهة بيانية سمعية تفاعلية. يتمثل المبدأ الأساسي لدراستنا في توليد الأصوات المسموعة من خلال "بطاقة الصوت" بترددات وشدة متفاوتة بالإضافة إلى ضجيج الاخفاء وفقاً للمعايير الطبية للسمع. ستكون هذه الأصوات متاحة للمستخدم لاستكشاف السمع عند المريض بواسطة التوصيل الهوائي.

يتم إجراء معايرة لتقييم مقياس السمع الافتراضي من خلال اختبارات عملية باستخدام مقياس السمع الطبي **SIBELMED AC50** والمقصورة العازلة للصوت المتوفرة في مختبر الأبحاث (**TOXICOMED**) (كلية الطب بجامعة تلمسان). تظهر النتائج التي تم الحصول عليها وجود علاقة ارتباط عالية بين اختبارات قياس السمع التي انجزت بواسطة مقياس السمع الافتراضي ومقياس السمع الطبي.

الكلمات المفتاحية: مقياس السمع ، عتبة السمع ، بطاقة الصوت ، واجهة بيانية ، الأصوات المسموعة ، ضجيج الاخفاء،

معايرة.