

**République Algérienne Démocratique Et Populaire**  
**Ministre De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique**  
**UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU**



**FACULTE DES GENI ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE**  
**DEPARTEMENT ELECTRONIQUE**

**Mémoire de fin d'études**  
**de MASTER ACADIMIQUE**  
Domaine : **Science et Technologies**  
Filière : **Génie électrique**  
Spécialité : **Electronique Biomédicale**  
Réalisé par :  
CHAFI Fatiha  
HAMROUN Lydia

# **Thème :**

# **Conception et Réalisation**

# **d'un audiomètre virtuel**

Proposé par :  
**M<sup>f</sup> LAGHROUCHE.M**

**Promotion 2016-2017**

# *Remerciement*

*Nous remercions dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de parvenir à la fin de notre parcours universitaire.*

*Nous tenons à présenter notre gratitude et notre profonde reconnaissance à notre encadreur à l'université, Mr LAGHROUCHE.M pour son aide, ses précieux conseils, de nous avoir suivi et orienter tout long de ce travail.*

*On remercie également Mr SADOUDI Hocine médecin spécialiste en O. R. L, ancien maitre assistant. Pour son accueil chaleureux au sein de son cabinet médical, Nous a vraiment aidé et soutenue jusqu' au bout que dieu le bénis.*

*Sans oublier de remercier tous ceux qui nous ont aidé, conseillé et encouragé à fin de réaliser ce modeste travail.*

*Nous remercions aussi les membres de jury qui nous on fait l'honneur d'examiner notre travail.*

# *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire a :*

*Mes chers parents, pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venus de vous.*

*A la mémoire de mon cher oncle RABIA Mohammed Saïd, mon conseiller, qui m'a assisté dans les moments difficiles, je n'oublierai jamais sa générosité et son aide précieuse, J'aurais aimé qu'il soit présent. Que Dieu Tout Puissant lui accorde sa miséricorde et l'accueil dans son vaste paradis.*

*A la mémoire de mon cher grand père que Dieu Tout Puissant lui accorde sa miséricorde et l'accueil dans son vaste paradis.*

*Ma sœur Lila et son époux Nourredine qui mon vraiment aidés et encouragés je vous souhaite une vie pleine de bonheur.*

*Mes frères Mouloud, Amar, Nassim, sa femme et sa petite fille mon adorable Elina .*

*Ma grande mère chérie qui ma accompagnée avec ces prières. Puisse Dieu lui prêter longue vie.*

*Mes adorables : Slimane, Walid, Lydia, Dihia, Zina et Lamia en souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.*

*Toutes mes amies et camarades a qui je souhaite la réussite.*

*Toutes personnes qui m'aime, que j'aime, toute ma famille et tous ceux que j'ai omis de citer.*

*Fatiha*

# *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire :*

*Mes chers parents, autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour vous. Vous m'avez comblé avec votre tendresse et affection tout au long de mon parcours. Recevez ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime. Puisse le tout puissant vous donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse vous combler à mon tour.*

*A Mon chère et unique frères AMIROUCHE que dieu le garde et le protège.*

*A ma petite sœur CHABHA que dieu la protège.*

*A Ma chère grande mère MEZZOU ELDJOUHAR la plus merveilleuse femme sur cette terre, et à la mémoire de mon cher grand père MEZZOU SAID que son âme se repose en paix.*

*A mes tentes ZAKIA et MALIKA ainsi que leurs frères ABEDELAH et ALI que dieux les bénissent.*

*A mes camarades M'HENI MEBARKI et MEDJMALI NABIL je vous souhaite la réussite dans vos projets ainsi que votre vie.*

*Lydia*

# Sommaire

# Sommaire

---

Liste des figures

Liste des abréviations

Glossaire

Introduction générale..... 1

## Chapitre I : Anatomie de l'oreille humaine

Introduction ..... 2

I. Mécanisme et anatomie de l'oreille ..... 2

I-1-l'oreille ..... 2

I-2- Anatomie de l'oreille ..... 3

I-2-1- L'oreille externe ..... 3

I-2-2-L'oreille moyenne ..... 4

I-2-3- L'oreille interne ..... 4

I-3- Les centres nerveux ..... 7

I-3-1- La voie auditive primaire ..... 7

I-4 - Fonctionnement d'audition chez l'homme ..... 8

II- La surdité..... 9

II-1- Définition ..... 9

II-2- Classification de la surdité ..... 9

II-2-1- Les type de la surdité ..... 9

II-2-1- Les degrés de la surdité ..... 10

II- 3- Les principales maladies ..... 11

II-4-Traitement des maladies ..... 12

III- Le son et l'audition ..... 12

III-1-Définition du son ..... 12

III-2- Caractéristique du son ..... 12

II-2-1- La Hauteur ou Tonie..... 12

III-2-2- La Sonie..... 13

# Sommaire

---

III-2-3- Le Timbre .....	14
III-3-Propagation des sons .....	15
III-4- Périodicité et fréquence .....	16
III-5- La pression acoustique.....	17
III-6- La puissance surfacique W et niveau d'intensité sonore I.....	17
IV- Le seuil de l'audition .....	18
Conclusion.....	18

## Chapitre II : L'appareil audiométrique

Introduction .....	19
I-Audiomètre .....	19
I-1- L'appareil d'audiométrie.....	19
II- Recherche de la simulation auditive .....	20
II-1- L'audiométrie subjectif.....	21
II-1-1- Audiométrie tonal .....	21
II-1-2- Audiométrie vocal .....	23
II-2- L'audiométrie objective .....	24
II-2-1- L'impédancemétrie .....	24
II-2-2- Les techniques d'électrophysiologie .....	24
II-3- L'audiométrie avancée .....	25
II-3-1- L'audiométrie en champ libre.....	25
II-3-2- Évaluation audiométrique de la lecture labiale.....	25
II-3-3- Audiométrie hautes fréquences .....	25
III-Test auditif .....	25
III-1- Installation du patient.....	25
III-1-1- Mise en place des écouteurs .....	25
III-1-2- Mise en place du vibreur .....	25
III-1-3- La réponse du patient.....	26

# Sommaire

---

III-2- l'examen d'audiométrie classique .....	26
III-2-1-Déroulement de l'examen .....	26
III-2-2- Audiogramme .....	28
III-2-2-1- Lecture d'audiogramme .....	28
III-2-2-2- Notations des résultats .....	29
III-2-3- Calcul de la perte auditive .....	29
Conclusion.....	30

## **Chapitre III : Programmation et conception de logiciel**

Introduction .....	31
I-Description de la carte de son TMS320C6713DSK.....	31
I-1- Définition .....	31
I-2- Les Caractéristiques d'un processeur DSP.....	31
I-3- Les Avantages d'un processeur DSP.....	32
I-4-Principales distinctions entre un DSP et un microprocesseur classique.....	33
I-5-Les applications d'un processeur DSP .....	34
I-6- Les Classifications d'un processeur (DSP) .....	35
I-6-1-Virgule fixe ou flottante .....	35
I-6-2- Comparaisent entre virgule fixe / flottante .....	35
I-7-L'architecture du TMS320C6713 .....	35
I-7-1- Unité centrale de traitement (CPU).....	36
I-7-2- Les périphériques du TMS320C6713 .....	37
I-7-3- La structure de la mémoire .....	38
I-8-Organisation de la mémoire du C6713 DSK.....	40
I-9- Le code composer studio .....	41
II- Conception de la conduction osseuse à l'aide d'un vibreur b-71 et la carte TMS 320C6713 DSK .....	42
1-Installation de code composer studio .....	42

# Sommaire

---

2-Connexion de la carte .....	42
3-Test de la connexion de la carte .....	43
4- Programmation à l'aide du Matlab/Simulink .....	44
4-1-Construire un système dans le simulink .....	44
4-2-Générer et charger le code sur la carte .....	46
4-3-Relier le programme.....	49
5-Génération le son audible sous MATLAB.....	49
III-Conception de la conduction aérienne à l'aide du logiciel LABVIEW .....	50
III-1-Le logiciel de programmation graphique LABVIEW .....	51
III-1-1-Les instruments virtuels .....	52
III-2- Description de notre interface .....	55
III-2-1 : Organisation et déroulement du programme sous LABVIEW .....	56
IV-Résultat .....	63
Conclusion .....	68
<b>Conclusion général</b> .....	<b>69</b>
Bibliographie	

# Liste des figures

## Liste des figures

---

<b>Figure I-1</b> : L'anatomie et la physiologie du système auditif .....	2
<b>Figure I-2</b> : L'oreille externe .....	3
<b>Figure I-3</b> : L'oreille moyenne .....	4
<b>Figure I-4</b> : L'oreille interne .....	5
<b>Figure I-5</b> : La cochlée .....	5
<b>Figure I-6</b> : Section axiale de la cochlée .....	6
<b>Figure I-7</b> : Canal cochléaire .....	6
<b>Figure I-8</b> : Représentation schématique d'une cellule ciliée interne (CCI) et externe (CCE) .	7
<b>Figure I-9</b> : Voie auditive primaire : résumé fonctionnel .....	8
<b>Figure I-10</b> : Les degrés de surdité .....	11
<b>Figure I-11</b> : Les sons à l'échelle humaine .....	14
<b>Figure I-12</b> : Les différents types du son .....	15
<b>Figure II-1</b> : Exemple d'appareil audiomètre .....	19
<b>Figure II- 2</b> : Écouteurs audiométriques .....	20
<b>Figure II-3</b> : vibreur pour examen voie osseuse .....	20
<b>Figure II-4</b> : Exemples de résultats en audiométrie tonal .....	22
<b>Figure II-5</b> : Exemple d'un audiogramme vocal.....	23
<b>Figure II-6</b> : Examen d'audiométrie objective .....	24
<b>Figure II-7</b> : Représentation d'un audiogramme.....	28
<b>Figure II-8</b> : Résultats sur un audiogramme .....	29
<b>Figure II-9</b> : Exemple de calcul de l'atteinte fonctionnelle à partie d'un audiogramme .....	30
<b>Figure III-1</b> : Chaîne d'un système de traitement numérique de signal .....	32
<b>Figure III-2</b> : Les applications du DSP .....	34
<b>Figure III-3</b> : Bloc diagramme de laTMS320C6713 .....	36
<b>Figure III-4</b> : Organisation de la mémoire interne TMS320C6713 .....	38
<b>Figure III-5</b> : Blocks Diagramme du 6713 DSK .....	39
<b>Figure III-6</b> : Code TLVALIC23.....	40
<b>Figure III-7</b> : Cartographie de la mémoire du C6713 .....	40
<b>Figure III-8</b> : Structure du système du développement du TMS320C6713 .....	41
<b>Figure III-9</b> : L'outil JTAG .....	42
<b>Figure III-10</b> : Diagnostic pour test la carte .....	43
<b>Figure III-11</b> : Fin de test .....	43
<b>Figure III-12</b> : Schéma du système à réaliser .....	44
<b>Figure III-13</b> : Paramètres de la boîte ADC .....	44

## Liste des figures

---

<b>Figure III-14:</b> Paramètres de la boîte DAC .....	45
<b>Figure III-15:</b> Initialisation des paramètres de simulation .....	45
<b>Figure III-16:</b> Fenêtre de configuration paramètre .....	46
<b>Figure III-17 :</b> Décochage de l'option 'Incorporate DSP/BOIS' .....	47
<b>Figure III-18 :</b> Cette figure montre le début de la configuration sous Matlab .....	48
<b>Figure III-19 :</b> Cette figure montre la fin de configuration sous Matlab .....	48
<b>Figure III- 20:</b> CC Studio après la construction du projet .....	49
<b>Figure III-21:</b> programme sur Matlab pour génère les sons .....	50
<b>Figure III-22 :</b> seuil d'intensité de fréquence pour une carte son standard a l'aide De charge casque (TDH39P) et vibreur B-71 .....	51
<b>Figure III-23 :</b> les différentes fonctions de LABVIEW .....	52
<b>Figure III-24 :</b> Les deux fenêtres principales de LABVIEW :(A) Face avant, (B) Face diagramme .....	53
<b>Figure III-25:</b> Palette de commande (face avant) .....	53
<b>Figure III-26 :</b> palette fonctions.....	54
<b>Figure III-27:</b> palette d'outils .....	54
<b>Figure III-28:</b> Configuration une sortie de son.....	55
<b>Figure III-29:</b> Configuration le volume du son .....	55
<b>Figure III-30 :</b> Ecrire une sortie de son .....	55
<b>Figure III-31:</b> La fenêtre pour commencer le test (face avant).....	56
<b>Figure III-32:</b> base de données du patient .....	57
<b>Figure III-33:</b> Génération du son (face avant).....	58
<b>Figure III-34 :</b> Diagramme1 de génération du son (fréquences et intensités) .....	59
<b>Figure III-35 :</b> Diagramme 2 Affichage des messages .....	60
<b>Figure III-36:</b> Diagramme 3 tracé des résultats sur l'audiogramme.....	61
<b>Figure III-37:</b> Interface d'Audiogramme (face avant).....	62
<b>Figure III -38:</b> test d'audiométrie classique (AC50) .....	63
<b>Figure III-39 :</b> test d'audiométrie virtuel avec TDH39P .....	64
<b>Figure III-40:</b> surdité de transmission .....	64
<b>Figure II I-41 :</b> test d'audiométrie classique (AC50) au niveau d CHU- BALOUA.....	65
<b>Figures III-42 :</b> test de conduction osseuse avec la carte TMS320C6713DSK et le vibreur B-71 .....	65

# Liste des abréviations

## Liste des abréviations

---

<b>CAN</b>	: Convertisseur Analogique Numérique
<b>CCS</b>	: Code Composer Studio; logiciel de développement pour DSP avec IDE
<b>CNA</b>	: Convertisseur Numérique Analogique
<b>CPU</b>	: Central Processing Unit
<b>dB</b>	: Décibel
<b>dB HL</b>	: Hearing Level
<b>DIP</b>	: Dual In- Line Pin
<b>DMA</b>	: Direct Memory Access
<b>DSK</b>	: DSP starter kit ; ensemble matériel et logiciel de développement pour DSP
<b>DSP</b>	: Densité Spectrale de Puissance ou Digital Signal Processing
<b>DRAM</b>	: Dynamic Random Access Memory
<b>EDMA</b>	: Enhanced Direct Memory Access
<b>EMIF</b>	: External Memory Interface
<b>FFT</b>	: Fast Fourier Transforma
<b>LED</b>	: Light Emitting Diodes
<b>MAC</b>	: Multiply and Accumulat
<b>McBSP</b>	: Multi-channel Buffered Serial Port
<b>RAM</b>	: Random-Access Memory
<b>SRAM</b>	: Static Random Access Memory
<b>TNS</b>	: Traitement Numérique du Signal

# Glossaire

## Glossaire

---

**Acuité auditive** : Est la bande passante des fréquences perceptibles par l'oreille humaine ainsi que le seuil de leur perceptibilité.

**Cérumen** : Substance grasse, jaune-brun, formée dans le conduit auditif externe.

**Endolympatique** : Liquide interne au labyrinthe membraneux de l'oreille interne.

**Mastoïde** : Eminence placée sur la partie inférieure et postérieure de l'os temporal, en arrière de l'oreille.

**Membrane basilaire** : Membrane de l'oreille interne située dans la cochlée et tendue entre la lame spirale interne et la lame spirale externe.

**Pharynx** : Conduit musculaire et membraneux allant du fond de la bouche à l'entrée de l'œsophage.

**Stéréophonie** : Technique de transmission ou d'enregistrement et de reproduction des sons permettant la reconstitution de la répartition spatiale des sources sonores. (Abréviation stéréo).

**Trompe d'Eustache** : Est un conduit osseux et fibro-cartilagineux reliant la paroi

antérieure de l'oreille moyenne au rhinopharynx, c'est-à-dire l'arrière-nez.

**Tronc cérébral** : Partie du système nerveux central intracrânien (encéphale) formant la transition entre le cerveau et la moelle épinière.

**Tympan** : Membrane fibreuse, transparente, qui sépare le conduit auditif externe de la caisse du tympan (cavité de l'oreille moyenne contenant les osselets) et transmet les vibrations sonores aux osselets. Synonyme : membrane tympanique.

# Introduction générale

## Introduction générale :

L'oreille est un organe sensitif essentiel pour la communication de l'être humain. Actuellement beaucoup de personnes souffrent des maladies de l'oreille qui les dérangent dans leur vie quotidienne, pour cela les patients ont besoin d'un dépistage de l'acuité auditive en utilisant l'audiométrie. L'audiométrie est une branche d'activité qui appartient au domaine de l'audiologie. Cette science rassemble toutes les méthodes, techniques et moyens nécessaires à la mesure de l'état fonctionnel des voies de l'audition. La mesure audiométrique consiste à quantifier les capacités perceptives d'un individu en mesurant les seuils de perception, discrimination et d'intégration d'une personne soumise à différents types de stimulation acoustique. Ces mesures peuvent être pratiquées avec des sons, audiométrie tonale ou avec des éléments de paroles, audiométrie vocale. Cette technique est une aide pour les personnes, qui ont des difficultés de comprendre ou d'entendre, pour distinguer les solutions médicales pour ces derniers, à partir d'un dépistage d'audition.

Dans notre projet une application d'un audiomètre virtuel est mise en œuvre, basé sur l'acquisition et le développement d'un audiomètre de dépistage de l'acuité auditive sur un pc, à base d'un logiciel de développement et d'applications LABVIEW en utilisant une carte de son externe de type (TMS320C6713DSK) avec le logiciel MTLAB 2007a, cette carte est munie d'un microprocesseur puissant (DSP) utilisé dans la plupart des applications de traitement numérique de signal en temps réel.

Notre travail est structuré comme suit :

Dans le premier chapitre nous parlerons sur l'anatomie de l'oreille et ces différentes fonctions.

Le second chapitre va se porter sur une étude détaillée de l'audiométrie, les différents types d'audiomètres, le déroulement du test, ainsi que les étapes à suivre pour enfin arriver à construire un diagnostic médical qui est l'audiogramme, et déduire les différents types de surdités à partir de ces tracés.

Et le dernier chapitre se basera sur la description et présentation de la carte (TMS320C6713DSK), la configuration de cette carte, la présentation des différents logiciels et matériels utilisés le long de ce travail.

Nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

# Chapitre I

## Anatomie de l'oreille humaine

## Introduction

L'oreille est l'organe responsable de l'audition chez l'être humain. Il nous permet d'entendre et d'écouter les multiples sons composant notre environnement grâce à un mécanisme complexe de transmission des ondes sonores. Il se compose de trois parties : l'oreille externe, moyenne et interne. Le système auditif humain possède des capacités remarquables. Sa sensibilité s'étend sur une plage des fréquences audibles allant de 20 Hz à 20 KHz et couvre un ensemble de pressions acoustique de 20  $\mu$ Pa à 20 Pa. Ce qui représente une incroyable dynamique de 120 dB. Cette sensibilité va en diminuant avec l'âge.

Dans ce premier chapitre nous allons présenter l'anatomie et fonctionnement du l'oreille, la surdité, le son et l'audition.

## I. Mécanisme et anatomie de l'oreille :

### I-1-l'oreille :

L'oreille est un organe très perfectionne et d'une grande sensibilité. La fonction de l'oreille est de transmettre et d'interpréter par transduction les sons au cerveau en passant par les différentes parties de l'oreille.

Elle a pour principale fonction de discerner et d'analyser les bruits par transduction. L'oreille intervient également dans le maintien de l'équilibre.

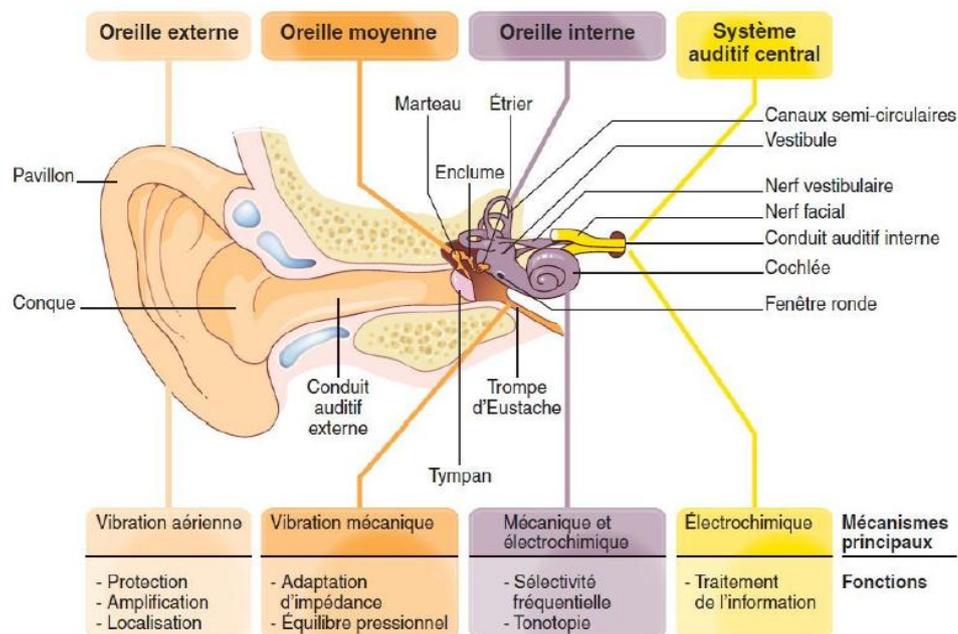


Figure I-1 : L'anatomie et la physiologie du système auditif [1]

## I-2- Anatomie de l'oreille [2] :

L'anatomie et la physiologie du système auditif sont comme dans tout système sensoriel intriqué (**figure I.1**). Nous décrivons dans ce rappel les éléments importants à la compréhension de l'item, c'est à dire en rapport avec l'oreille externe, moyenne et interne et le nerf cochlée-vestibulaire. Chaque partie correspond à un milieu de propagation différent.

### I-2-1- L'oreille externe :

L'oreille externe, a pour rôle de capter les sons extérieurs et de les transmettre vers l'oreille moyenne. Elle est formée par le pavillon et le conduit auditif externe.

#### ○ Le pavillon :

Le pavillon est la partie visible de l'oreille permet de capter et de canaliser les ondes sonores vers le conduit auditif. Sa forme privilégie les sons provenant de face et crée un effet de masquage fréquentiel sur les sons venant de l'arrière du crâne, jouant par là même un rôle important dans la localisation de la source sonore. Le conduit auditif dirige les ondes jusqu'au tympan. Il se présente sous la forme d'un petit tuyau pouvant aller de 0,5 à 1 cm de diamètre et de 2 à 4 cm de longueur, creusé dans l'os temporal. Il joue également le rôle de pré-filtre [19].

#### ○ Le conduit auditif externe :

Canal qui achemine les sons captés vers le tympan. Il est pourvu de poils et recouvert de cérumen, une substance grasse qui retient les poussières.

#### ○ Le tympan :

Membrane d'infrastructure fibro-conjonctive, recouverte d'un épithélium stratifié sur sa face externe et de la muqueuse qui tapisse la caisse, sur sa face interne.

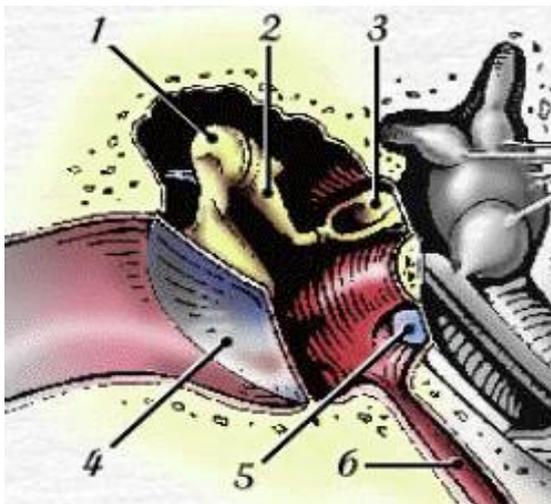


Figure I-2: L'oreille externe [1]

**I-2-2-L'oreille moyenne :**

Elle se compose des osselets, de la trompe d'Eustache et à la mastoïde. La pars tensa est semi-transparente présente un relief principal : le manche du marteau. La pars flaccida est au dessus de la pars tensa, séparée par les ligaments tympano-malléaires antérieur et postérieurs. La chaîne ossiculaire est constituée de trois osselets, de dehors en dedans le marteau ou malleus, l'enclume ou incus, l'étrier ou stapes. Le système tympanon-ossiculaire a pour fonction principale l'adaptation d'impédance des ondes transmises en milieu aérien vers le milieu liquidien de l'oreille interne. En son absence, la perte auditive est d'environ 50 à 55 dB.

Les muscles de l'oreille moyenne participent à la protection de l'oreille interne aux sons forts via la mise en jeu du réflexe stapédien. La trompe d'Eustache a une fonction équipressive pour garder une pression identique de chaque côté du tympan et une fonction de drainage d'évacuation vers le cavum grâce au processus muco-ciliaire.

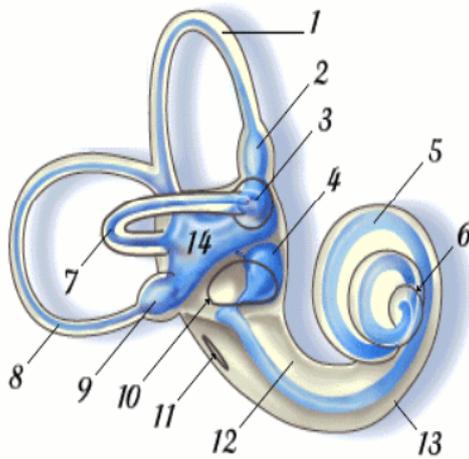


- 1- Marteau
- 2- Enclume
- 3- Etrier
- 4- Tympan
- 5- Fenêtre ronde
- 6- Trompe d'eustache

**Figure I-3: L'oreille moyenne [2]**

**I-2-3- L'oreille interne :**

L'oreille interne est l'organe principal de l'audition, car c'est le responsable de la transduction du signal acoustique en message nerveux. Son anatomie et sa physiologie très complexes sont à l'origine des capacités auditives très performantes dont disposent les mammifères. Et caractérisée par la cochlée et les canaux semi-circulaires.



- (1) Canal antérieur
- (2) Ampoule (du même canal)
- (3) Ampoule (du même horizontal)
- (4) Saccule
- (5) Canal cochléaires
- (6) Helicotrene
- (7) Canal Interlat (horizontal)
- (8) Canal postérieur
- (9) Ampoule (canal postérieur)
- (10) Fenêtre ovale
- (11) Fenêtre ronde
- (12) Rampe vestibulaire n
- (13) Rampe tympanique
- (14) Utricule

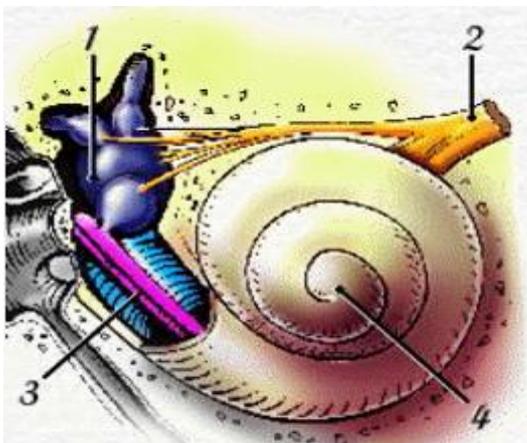
**Figure I-4: L'oreille interne [1]**

○ **Les canaux semi-circulaires :**

Les canaux semi-circulaires servent à l'équilibre du sujet, conjointement avec la vue et la proprioception.

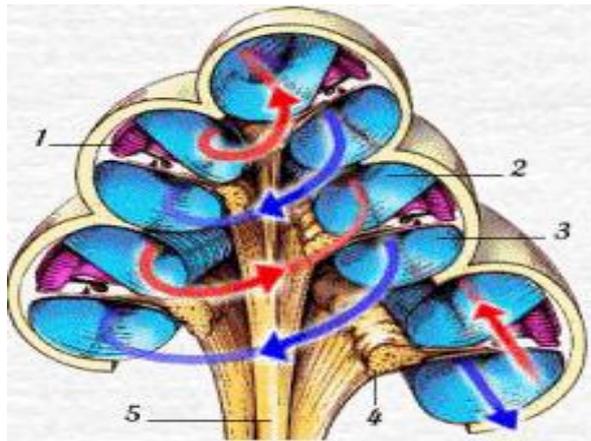
○ **La cochlée :**

La cochlée est un transducteur mécano-neurosensitif (transforme l'énergie mécanique en influx nerveux) qui sert d'intermédiaire entre le son et le cerveau. Et sous forme de spirale d'environ 35mm de long qui vibre sous les coups de la chaîne ossiculaire, cette cochlée est séparée par une membrane sur toute sa longueur en deux demi-rampes remplies d'un liquide endolympatique.



- (1) Vestibule
- (2) nerfs vestibulaires et cochléaires
- (3) l'organe de corti
- (4) cochlée

**Figure I-5: La cochlée [3]**



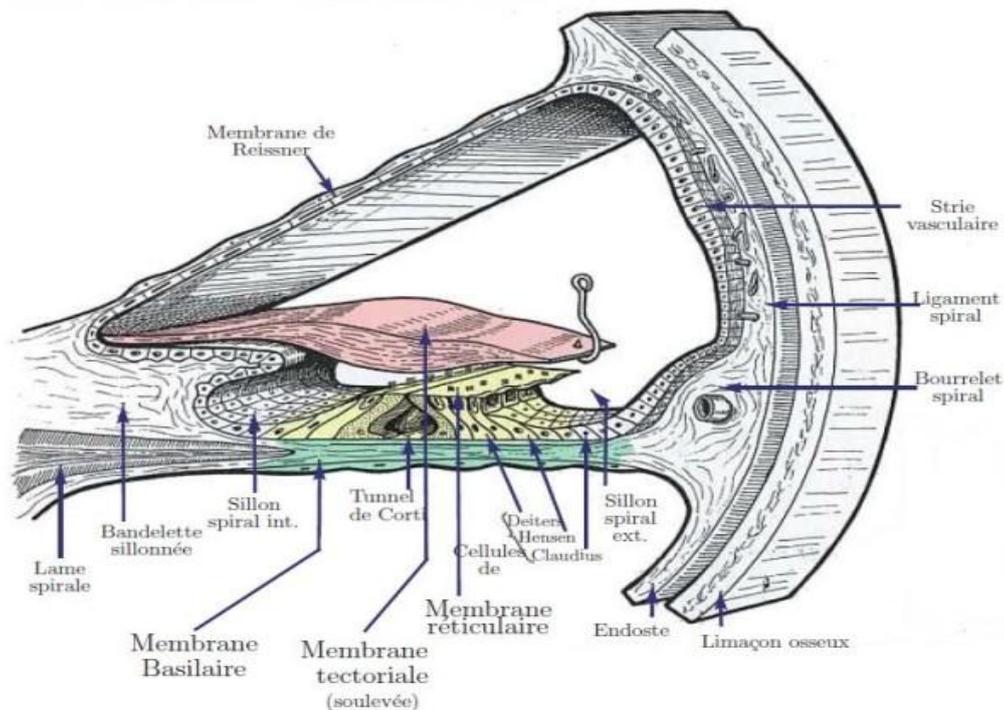
- (1) canal cochléaire contenant l'endolymphe,  
 (2) rampe vestibulaire,  
 (3) rampe tympanique contenant la périlymphe. Au centre  
 (4) le ganglion spiral  
 (5) apparaissent en jaune.

**Figure I-6: Section axiale de la cochlée [2]**

Entre les rampes se trouve le canal cochléaire contenant l'organe de Corti. C'est dans le canal cochléaire (**indiqué par 1 sur le schéma I.6**) et représenté plus précisément sur la (**figure I.7**) que se trouve l'organe sensoriel essentiel de l'audition : l'organe de Corti.

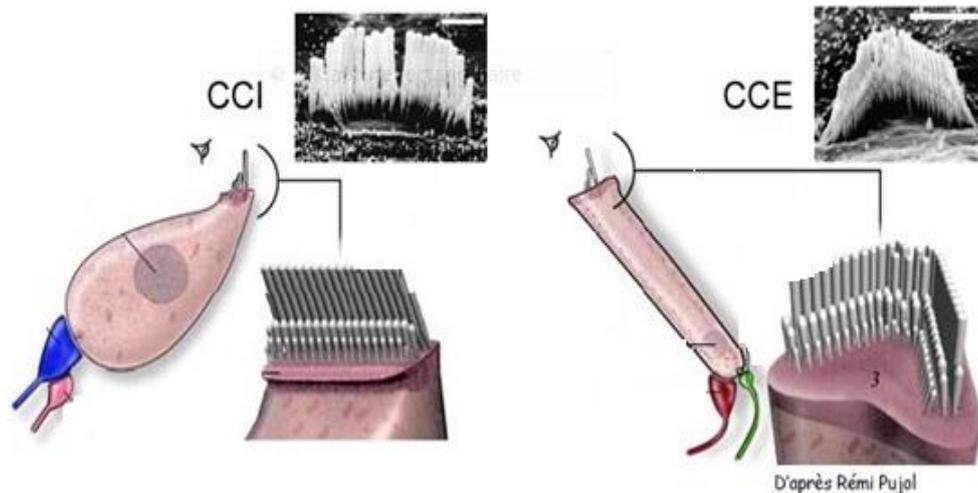
○ **L'organe de Corti :**

L'organe de Corti, qui repose sur la membrane basilaire, est l'organe sensori-nerveux de la cochlée. Il est composé des cellules sensorielles ou cellules ciliées, des fibres nerveuses qui leur sont connectées et des structures annexes ou de support. (**La figure I.7**) détaille son anatomie.



**Figure I-7: Canal cochléaire [2]**

- Comme l'indique (la figure I-8) il y a deux types de cellules ciliées :
- Les cellules ciliées internes (CCI), dont le nombre par cochlée avoisine les 3500 et
  - Les cellules ciliées externes (CCE) qui sont environ 12500 par cochlée.
  - Les cellules ciliées sont ainsi nommées car leur extrémité supérieure, en contact avec l'endolymphe, porte une centaine de stéréocils en 3 rangées de tailles différentes.



**Figure I-8 : Représentation schématique d'une cellule ciliée interne (CCI) et externe (CCE) [4]**

### I-3- Les centres nerveux [5] :

Le cerveau auditif, aussi appelé cortex auditif ou cortex auditif central, est au cœur des traitements auditifs binauraux.

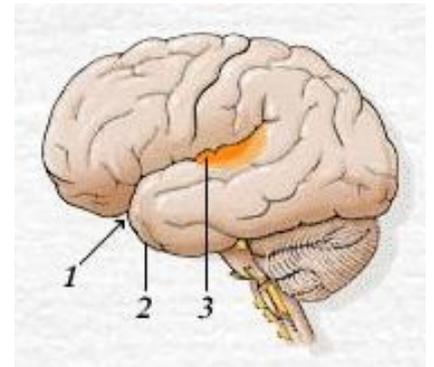
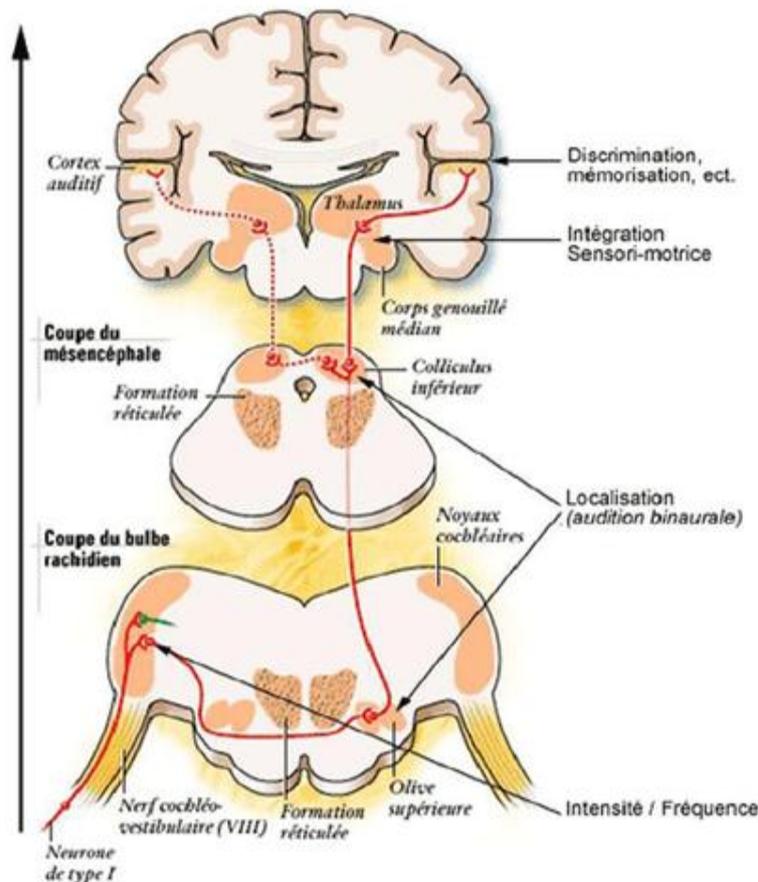
#### I-3-1- La voie auditive primaire

La voie auditive primaire est celle qui va permettre d'envoyer l'information sonore de la cochlée jusqu'au cortex auditif afin qu'elle soit reconnue et mémorisée. Cette voie est rapide (fibres myélinisées, peu de synapses) et effectue un décodage de plus en plus complexe en montant vers le cortex.

La voie auditive primaire passe par plusieurs relais (figure I.9); chaque relais a un rôle spécifique dans l'analyse et le décodage de l'information sonore:

- Noyau cochléaire du tronc cérébral : décodage en intensité, durée, fréquence.

- Olive supérieur et colliculus inférieur : localisation dans l'espace.
- Thalamus (corps genouillé médian) : intégration des informations avec préparation d'une réponse verbale.
- Cortex auditif (aire n°4) : reconnaissance (discrimination) et mémorisation.



- 1 sillon de Sylvius
- 2 aire temporelle
- 3 cortex auditif

**Figure I-9 : Voie auditive primaire : résumé fonctionnel**

Le colliculus inférieur, où s'opèrent des décussations avec l'autre relais controlatéral, joue un rôle majeur dans la stéréophonie. Effectivement, les informations échangées vont permettre d'encoder de manière précise les différences interaurales de temps et d'intensité entre les deux oreilles et donc permettre la localisation sonore spatiale. Ces phénomènes sont expliqués plus en détail dans ce qui suit.

#### **I-4 -Fonctionnement d'audition chez l'homme :**

L'oreille externe capte les sons, amplifie les fréquences moyennes (les plus utiles à la perception de la parole) et protège également le tympan. Le tympan est une membrane

souple qui se déforme sous l'effet des ondes sonores. La chaîne d'osselets (marteau, enclume, étrier) transmet les vibrations du tympan à la cochlée. Celle-ci comprend environ 20 000 cellules ciliées recouvertes d'une masse gélatineuse épaisse. Les cellules ciliées amplifient les vibrations sonores et les sélectionnent par fréquences allant de la plus grave à la plus aigüe. Par l'intermédiaire de médiateurs chimiques, elles délivrent au cerveau des impulsions électriques. Il ne reste plus au cerveau qu'à décoder et interpréter les messages reçus.

## **II- La surdité [6] :**

### **II-1- Définition :**

La surdité est une diminution totale ou partielle de la sensibilité du système auditif. C'est un état pathologique qui caractérise une élévation du seuil auditif, c'est-à-dire l'intensité minimale d'un son pour qu'il soit perçu par notre oreille.

Il existe plusieurs classifications de la surdité :

- Selon son type : perception, transmission ou mixte.
- Selon son importance : légère, moyenne, sévère, profonde ou totale.

### **II-2- Classification de la surdité :**

#### **II-2-1- Les type de la surdité :**

##### **a - Surdité de transmission:**

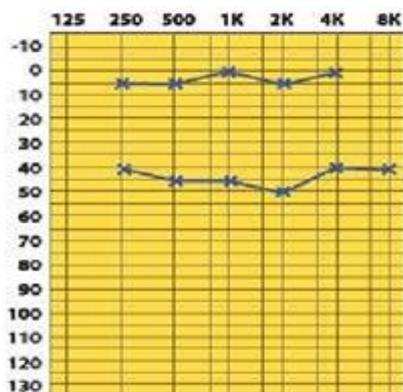
La courbe de conduction osseuse reste coll e en haut, car l'oreille interne est normale ; mais la courbe de conduction aérienne descend plus ou moins bas, sans dépasser 40 à 50 dB.

##### **b - Surdité de perception :**

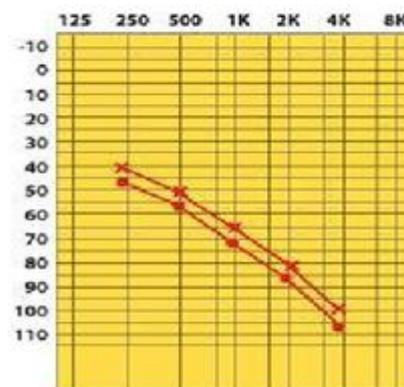
Les deux courbes, tout en restant coll es, s'effondrent plus ou moins Profondément, mais bien souvent en prédominant sur les fréquences aiguës.

##### **c - Surdité mixte :**

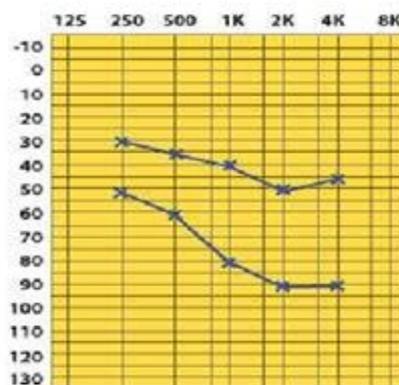
En plus de l'effondrement de la courbe osseuse, la courbe aérienne descend encore plus bas, et cette part de transmission surajout e augmente encore la g ene.



a



b



c

### II-2-2- Les degrés de la surdité [7] :

Les pertes d'audition sont classées en 6 catégories :

**Normale** : en dessous de 20 dB, on considère dans ce cas l'audition normale.

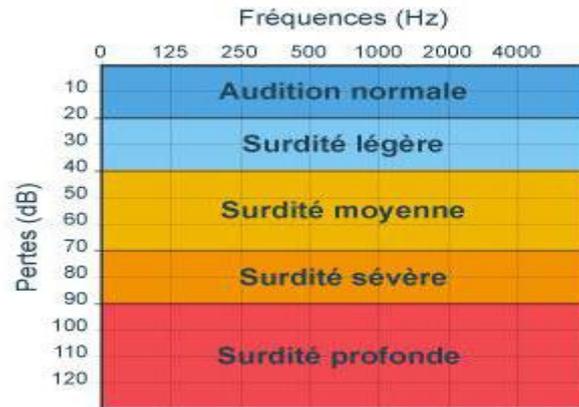
**Légère** : 21 à 40 dB, dans ce cas la perte devient gênante pour les sons faibles et souvent pour des sons aigus.

**Moyenne** : 41 à 70 dB, elle a pour conséquence une diminution notable de la compréhension de la parole.

**Sévère** : 71 à 90 dB, dans ce cas l'audition se limite aux sons forts et la compréhension est très difficile sans appareillage.

**Profonde** : 91 à 120 dB, dans ce cas la parole n'est plus du tout perçue et seuls les bruit très puissants entendus sans être nécessairement identifiés.

**Totale** : Au-delà de 120 dB, pas d'audition mesurable.



**Figure I-10 : Les degrés de surdité**

Il y a des conséquences différentes sur la compréhension du signal vocal selon le degré de perte auditive et selon les fréquences lésées. L'intelligibilité s'en trouve alors affectée.

### II-3- Les principales maladies [8] :

L'oreille peut être touchée par différentes maladies, cela au niveau de ses trois parties, la plus touchée étant l'oreille moyenne. La maladie de l'oreille la plus fréquente est l'otite. Ce terme englobe toutes les infections de l'oreille, même si l'otite peut atteindre séparément les trois parties de l'oreille et avoir des images cliniques complètement différentes. Il est important de bien différencier ces otites pour mieux les comprendre et les traiter.

#### ✓ Otite externe :

C'est une infection aiguë et le plus souvent bactérienne de la peau du conduit auditif externe, le tympan ne participant pas ou peu à cette maladie. Pour qu'une otite externe se déclare, la peau du conduit auditif doit avoir été modifiée par un facteur extérieur, car normalement elle est capable de se défendre toute seule.

#### ✓ Otite moyenne :

L'OMA est une infection aiguë, généralement d'origine bactérienne, de la muqueuse de l'oreille moyenne et des cavités qui l'entourent. Elle a une histoire naturelle favorable dans la majorité des cas.

#### ✓ Otite interne :

C'est une infection rare et redoutée de l'oreille interne, car elle provoque souvent des dégâts irréversibles se manifestant par une perte de l'audition plus ou moins importante.

## **II-4-Traitement des maladies [8] :**

Le traitement d'une maladie de l'oreille ne peut se faire qu'après son dépistage. Seul l'ORL est habilité à examiner l'oreille et de prescrire un traitement spécifique.

### **✓ Traitement médicaux :**

Ce type de traitement ils s'adressent à certaines surdités de transmission que les otites qui nécessitent des antibiotiques et anti -inflammatoires. Certains médicament et gouttes auriculaires sont à utiliser avec grande prudence sur prescription médicale car certains sont toxiques pour l'oreille.

### **✓ Traitements chirurgicaux :**

Si le traitement médical ne parvient pas à arrêter des vertiges, une perte auditive, et de sifflements et de la pression dans l'oreille, l'intervention doit être envisagée. Dans le passé, le seul traitement est la destruction totale de l'oreille, qui guérit les vertiges mais a entraîné une perte d'audition totale. En 1978, une procédure différente a été développée, celle qui coupe le nerf équilibre au cerveau tout en gardant l'audition et des vertiges relevée dans 95% des cas. Mais parce qu'elle a impliqué d'exploitation proche du cerveau, seuls les cas les plus graves ont été traités de cette façon.

## **III- Le son et l'audition :**

### **III-1-Définition du son :**

Le son peut être défini comme représentant la partie audible du spectre des vibrations acoustiques, de même que la lumière se définit comme la partie visible du spectre des vibrations électromagnétiques.

Le son est donc des vibrations mécaniques qui se propagent dans différentes milieux élastique.

- Dans l'air : le son se propage à une vitesse de 340 m/s.
- Dans le liquide : plus rapidement 1440 m/s dans l'eau pure.
- Dans le solide : il se propage encore plus rapidement 5050 m/s dans l'acier.

### **III-2- Caractéristique du son [9] :**

La sensation sonore est décrite par 3 qualités principales :

#### **II-2-1- La Hauteur ou Tonie :**

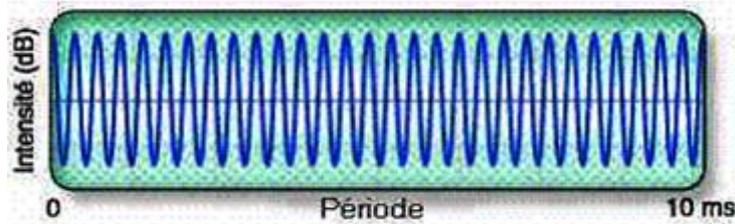
La tonie ou hauteur est la qualité de la sensation qui fait dire que le son est grave ou aigu. La tonie est essentiellement liée à la fréquence.

L'oreille humaine perçoit des fréquences comprises entre 20 Hz (fréquence la plus grave) et 20 000 Hz (fréquence perçue la plus aiguë).

Il existe un domaine audible : de 16 à 20 000 Hz, pour lequel la limite supérieure s'abaisse avec l'âge en descendant jusqu'à 12000 Hz (Presbycousie).

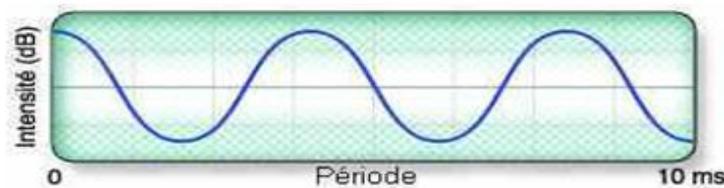
- **Son aigu :**

Cette sinusoïde représente un son pur d'une fréquence de 3000 Hz.



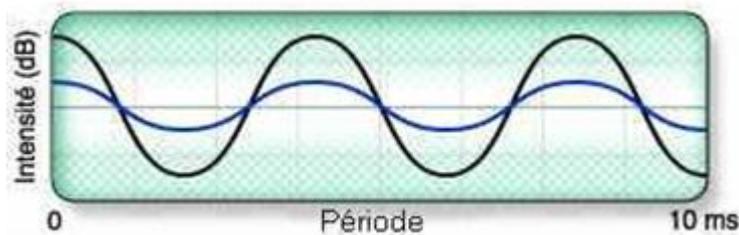
- **Son grave :**

Cette sinusoïde représente un son pur d'une fréquence de 300 Hz.



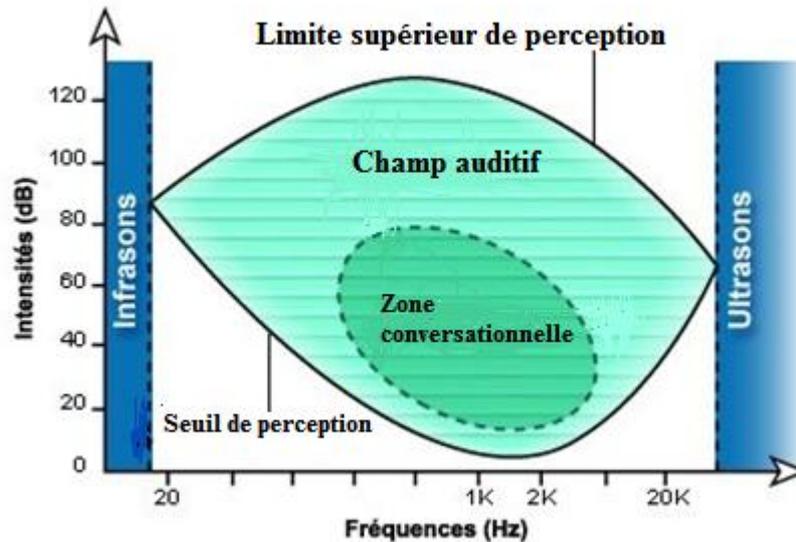
### III-2-2- La Sonie :

C'est la qualité de la sensation qui fait dire que le son est fort ou faible.



Pour un son donné, la variation de la puissance surfacique montre qu'il existe un seuil liminaire en dessous duquel le son n'est pas perçu, c'est le seuil de l'audition.

L'étude de la variation de ces seuils en fonction des individus et de la fréquence constitue l'audiométrie. Si, à partir de ce seuil, on augmente la puissance surfacique, on aboutit à une sensation douloureuse et on parle de seuil douloureux (> 120 dB).



**Figure I-11 : Les sons à l'échelle humaine**

La courbe inférieure représente la courbe des seuils de perception de l'oreille humaine en parfait état. Pour chaque fréquence, le seuil de perception est différent : les fréquences les mieux perçues (la courbe avoisine le 0 dB) se situent dans la gamme moyenne entre 1 et 3 kHz. C'est aussi dans cette gamme que la dynamique de sensation est la plus grande (de 0 à 130 dB). La courbe supérieure représente la limite des intensités perceptibles : au-delà, il y a douleur et/ou destruction cellulaire dans l'oreille. La zone conversationnelle définit les sons utilisés pour la communication par la voix humaine : ce n'est que lorsque cette zone est affectée que le handicap auditif apparaît vraiment.

### **III-2-3- Le Timbre :**

Le timbre est la qualité d'un son qui permet de reconnaître deux sons de même hauteur et de même sonie émis par deux instruments différents. Le timbre c'est ce qui fait qu'une flûte et un saxophone produisent des sons différents, même lorsque ces deux instruments jouent la même note. Il est lié au spectre de fréquence du son. En effet, un son émis et non pur, contient, en plus du fondamental des partiels. Si un partiel a une fréquence multiple entier du fondamental, on parle d'harmonique. L'oreille entraînée peut déceler jusqu'au dixième harmonique, c'est à dire différencier des sons différents par une seule valeur des 10 premières harmoniques.

### III-3-Propagation des sons :

Dans un milieu homogène, le son se propage en ligne droite, à partir de la source émettrice. Les vibrations se font de façon longitudinale par rapport à la direction de propagation. La propagation du son se fait par transmission de vibrations d'une particule matérielle à sa voisine : il faut donc distinguer :

- Vitesse locale d'une particule matérielle mise en mouvement de vibration
- Célérité de la propagation de l'onde sonore le long de la direction,

Soit :

- La vitesse acoustique,
- La célérité du son.

La propagation de l'ébranlement est d'autant plus rapide, par mise en vibration des particules voisines, que :

le milieu est moins compressible :

Compressibilité solide < liquide < gaz  $\Rightarrow$  vitesse de propagation dans solide > liquide > gaz.  
Et que l'inertie du milieu c'est à dire sa masse volumique est faible (pour un type de matière donnée).

$$C = 1 / \sqrt{\chi \rho} \quad (1)$$

( $\chi$  = compressibilité,  $\rho$  = masse volumique)

### III-4- Périodicité et fréquence [9] :

La vibration des particules est caractérisée par l'équation de type :

$$x(t) = a \sin (2 \pi f t) \quad (2)$$

( $x$ = position,  $a$  = amplitude du mouvement,  $f$ = fréquence de vibration,  $t$  = temps )  
Dans ce cas, le son est dit « pur » Dans le cas où la vibration n'est pas décrite par cette équation sinusoïdale, le son est dit « complexe », il se décompose en une somme de sons purs.

✓ **Son pur :**

La vibration est caractérisée par une seule fréquence.

(p=période, t=temps, i=intensité)

✓ **Son musical :**

La même fréquence fondamentale que le son pur ci-dessus s'ajoute des harmoniques (fréquences plus aiguës, multiples entiers de la fréquence fondamentale) qui caractérisent le timbre de l'instrument ou de la voix.

(p=période, t=temps, i=intensité)

✓ **Bruit :**

Le bruit est une variation aléatoire de la pression acoustique : aucune périodicité dans le signal et pas de hauteur (ou fréquence) précise. Les bruits les plus courants sont le bruit blanc (même énergie pour toutes les fréquences) et le bruit rose (même énergie pour toutes les bandes de fréquences).

(t=temps, i=intensité)

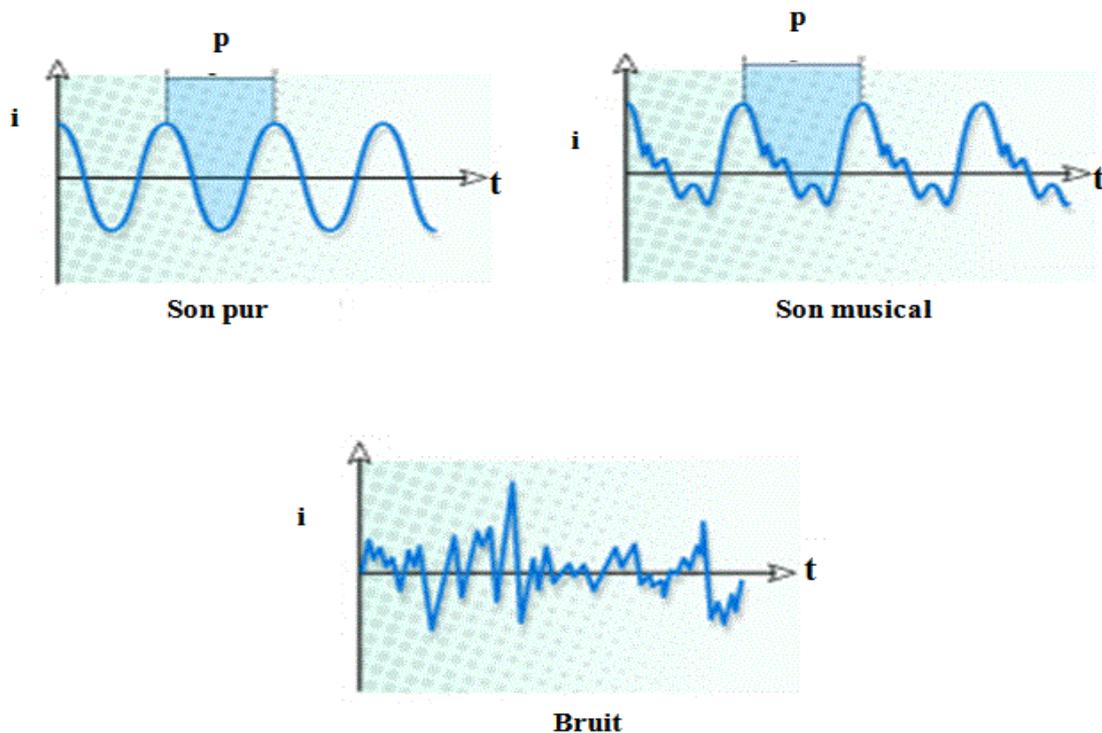


Figure I-12 : Les différents types du son

**III-5- La pression acoustique [9] :**

Le long de l'axe de propagation du son, les particules subissent un déplacement vibratoire sinusoïdal autour de leur position de repos, leur densité sur cet axe varie, faisant apparaître des régions plus denses et d'autres moins denses qu'à l'état de repos. On observe donc des variations de pression autour de la pression atmosphérique, donc des surpressions et des dépressions par rapport à la pression de base. Cette variation est appelée « pression acoustique ». La pression acoustique est donnée par :

$$P = \rho v.c \quad (3)$$

( $\rho$  = masse volumique,  $v$  = vitesse acoustique,  $c$  = célérité acoustique)

La pression acoustique est faible devant la pression atmosphérique :

De  $2.10^{-5}$  à 20 Pa (par rapport à  $1,013.10^5$  Pa), soit de 5.104 à 5.109 fois plus faible, mais elle peut varier dans un rapport de 106, ce qui justifiera l'utilisation d'une échelle logarithmique.

**III-6- La puissance surfacique W et niveau d'intensité sonore I :**

La propagation de l'onde sonore correspond à un transfert d'énergie, donc à une puissance si l'on se réfère à l'unité de temps. L'énergie est distribuée sur une surface.

La puissance surfacique  $W$  de l'onde sonore est donc cette énergie de mise en mouvement des particules par unité de surface et de temps. Elle est proportionnelle au carré de l'amplitude de la vibration. En prenant comme niveau de référence  $W_0$  la puissance acoustique d'un son pur de 1000 Hz juste audible ( $10-12 \text{ W.m}^2$ ) pour un sujet jeune normal, on aura :

$$I = \log_{10} W / W_0 \quad (4)$$

$I$  est le niveau d'intensité sonore, il est exprimé en Bels et varie de 0 à 12. Pour affiner la sensibilité de l'échelle, on exprime le niveau en dixièmes de Bels (décibels ou dB ou Phones)

$$I_{dB} = 10. \log_{10} W / W_0 \quad (5)$$

L'échelle est donc comprise entre 0 et 120 dB.

#### **IV- Le seuil de l'audition :**

Le seuil de l'audition de l'homme c'est-à-dire le son de plus faible intensité qu'il peut entendre est fixe à 0 décibel, mais un son entre 0 et 30 décibels est presque inaudible.

Voici quelques exemples d'intensité de sons :

-30/40 dB : chuchotement.

-60 dB : conversation à voix haute.

-85 dB : restaurant scolaire.

-100 dB : tonnerre, boîte de nuit

-120 dB : un avion au décollage.

Un son d'intensité 85 décibel représente un risque pour l'oreille, mais un son de 120 dB étant d'autant plus dangereux entraîne une douleur chez l'homme. Le tympan éclate aux alentours de 160 décibel.

#### **Conclusion :**

Nous venons de voir que l'appareil auditif humaine a une structure très complexe. Cette complexité se retrouve au niveau de son fonctionnement.

Particulier, on retiendra que des mécanismes actifs viennent pour enrichir la sensibilité et la sélectivité de l'oreille aux faibles niveaux sonores.

# Chapitre II

## L'appareil audiométrique

## Introduction :

Pour proposer aux personnes malentendantes une aide auditive adaptée, il faut en premier lieu déterminer avec précision le type et le degré de la perte d'audition. C'est le but de l'audiométrie. Cet examen repose sur l'utilisation de plusieurs méthodes qui fournissent aux spécialistes des informations sur l'état de l'audition des patients.

### I- Audiomètre :

L'audiométrie est une branche d'activité qui appartient au domaine de l'audiologie. Cette science rassemble toutes les méthodes, techniques et moyens nécessaires à la mesure de l'état fonctionnel des voies de l'audition. La mesure audiométrique consiste à quantifier les capacités perceptives d'un individu en mesurant les seuils de perception, discrimination et d'intégration d'une personne soumise à différents types de stimulation acoustique. Ces mesures peuvent être pratiquées avec des sons, audiométrie tonale ou avec des éléments de paroles, audiométrie vocale. Au plan légal il est primordial de bien différencier. L'audiométrie tonale et vocale pratiquée dans le cadre des mesures nécessaires à l'exercice de la profession d'audioprothésiste est qualifiée de prothétique et est elle aussi réservée dans sa pratique aux audioprothésistes.



**Figure II-1 : Exemple audiomètre [10]**

#### I-1- L'appareil d'audiométrie [11] :

L'appareil d'audiométrie comporte trois voies de stimulation auditive : deux voies pour la conduction aérienne - l'une commandant l'émission du son dans l'écouteur destiné à l'oreille droite, l'autre dans l'écouteur destiné à l'oreille gauche et une voie pour la conduction osseuse.

#### ✓ La conduction aérienne (CA) :

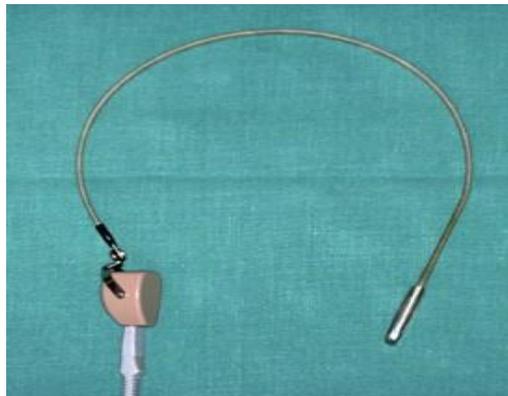
Il suffit de percuter un diapason afin qu'il entre en résonance et de l'approcher du conduit auditif externe de l'oreille à tester. L'onde sonore progresse alors par le conduit auditif externe et la chaîne tympano-ossiculaire vers la cochlée.



**Figure II.4: Écouteurs audiométriques [16]**

✓ **La conduction osseuse (CO) :**

Progresses par vibration trans-osseuse lorsqu'on applique le pied du diapason sur le vertex (haut du crâne, ou front pour éviter les zones pileuses). Cette stimulation shunte l'oreille moyenne et stimule directement la cochlée.



**Figure II-3: Vibreur pour examen de la voie osseuse [13]**

**II- Recherche de la simulation auditive [11] :**

La simulation prend, à l'heure actuelle, de plus en plus d'importance du fait des surdités provoquées par les guerres modernes ou les accidents de la route et du travail. Il est donc parallèlement de plus en plus nécessaire de pouvoir, non seulement dépister une simulation, mais encore apprécier l'exacte valeur fonctionnelle d'une oreille, étant donnée

que, dans la plupart des cas, il ne s'agit pas d'une simulation véritable, mais d'exagération d'une hypoacousie réelle.

Les moyens mis à la disposition de l'otologiste sont extrêmement nombreux. Notre but n'est pas de les énumérer ici, mais de décrire quelques méthodes particulièrement utiles. En effet, à côté des moyens classiques, tels que les examens d'acoumétrie phonique (voix chuchotée ou voie haute), ou instrumentaux (montre, diapason), ou encore électro-acoustiques (telle l'épreuve de Robert Foy), qui ont depuis longtemps fait leurs preuves, il existe toute une gamme de tests audiométriques que nous allons maintenant décrire, tout au moins ceux que la pratique nous a montrés être les meilleurs.

Ces tests appartiennent, soit au cadre de l'audiométrie dite « subjective » (audiométrie ordinaire), soit aux méthodes dites « objectives ».

### **II-1- L'audiométrie subjective :**

L'audiométrie subjective est l'examen qui dépend de la réponse du patient, elle comprend elle-même, l'audiométrie des hautes fréquences, l'audiométrie tonale et vocale.

#### **II-1-1- Audiométrie tonal [11] :**

C'est l'examen de base de l'audition : comme le son atteint l'oreille interne par deux voies différentes, l'audiométrie tonale va les tester toutes les deux .

D'abord, le son est envoyé par un casque dans l'une des oreilles puis dans l'autre, cela permet de mesurer la conduction du son par voie aérienne c'est-à-dire par le tympan et les osselets.

Dans un deuxième temps, le son est envoyé par un petit vibreur osseux posé derrière l'oreille et cela pour les deux oreilles séparément, cet examen va permettre d'étudier la conduction osseuse du son à travers les os du crâne.

Le résultat de ce test donne ainsi deux courbes par oreille, par convention et même si la voie aérienne est normalement meilleure que la voie osseuse, la voie osseuse est toujours meilleure ou égale à la voie aérienne sur l'audiogramme. Un bon examen audiométrique tonal doit impérativement tester les deux voies de conduction. L'interprétation de ces courbes permet de mesurer différents paramètres dont le degré de perte de l'audition et le type de surdité.

✓ Exemples de résultats en audiométrie tonal [12] :

1-Cet audiogramme tonal décrit une surdité moyenne du premier degré du côté droit (cercles rouges) prédominant sur les fréquences aiguës. La courbe osseuse (crochets) est superposée à la courbe aérienne : c'est une surdité de perception ou neurosensorielle.

2-Une surdité de transmission est caractérisée par un abaissement de la courbe aérienne (croix bleues, côté gauche) et des seuils normaux (<20 dB HL) en conduction osseuse. La chaîne tympano-ossiculaire est probablement lésée mais la cochlée n'est pas atteinte. la différence entre les seuils aériens et osseux s'appelle le Rinne audiométrique.

3-Dans le cas d'une surdité mixte, les seuils aériens et osseux sont abaissés mais non superposés (oreille droite). La courbe aérienne est plus basse que la courbe osseuse. Il existe un Rinne de 40 dB HL sur la fréquence 4 kHz).

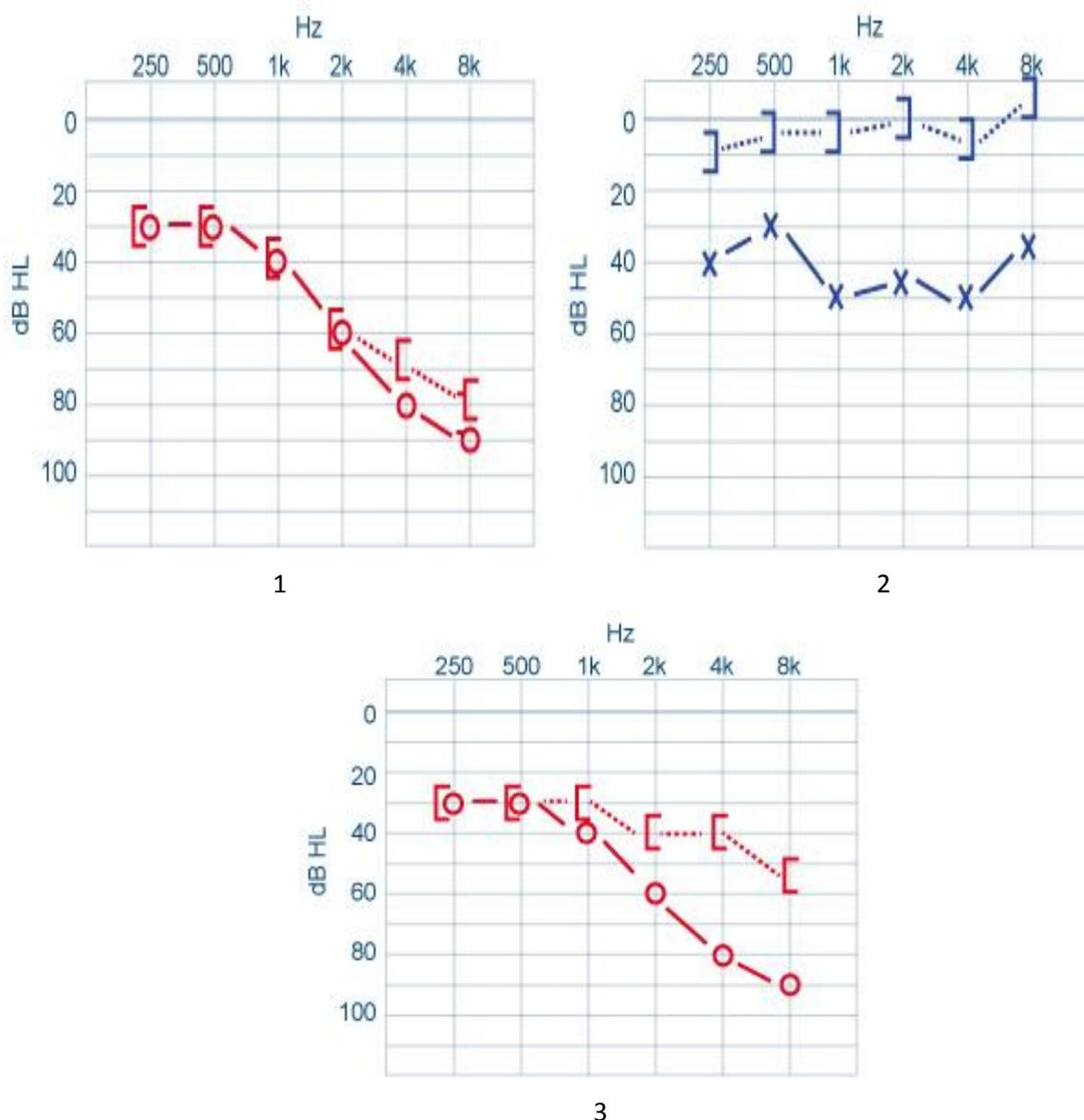


Figure II-4 : Exemples de résultats en audiométrie tonal.

**II-1-2- Audiométrie vocal [10] :**

Elle complète très souvent l'audiométrie tonale qui consiste à faire répéter des mots soit envoyés par le casque dans une oreille soit envoyés par un haut-parleur placé devant le patient.

L'audiométrie vocale ne se pratique normalement pas pour la conduction osseuse, elle va confirmer les résultats obtenus lors de l'audiométrie tonale, lorsqu'elle ne correspond pas l'audiométrie tonale, une lésion au niveau des voies nerveuses auditives ou du cerveau peut être suspectée.

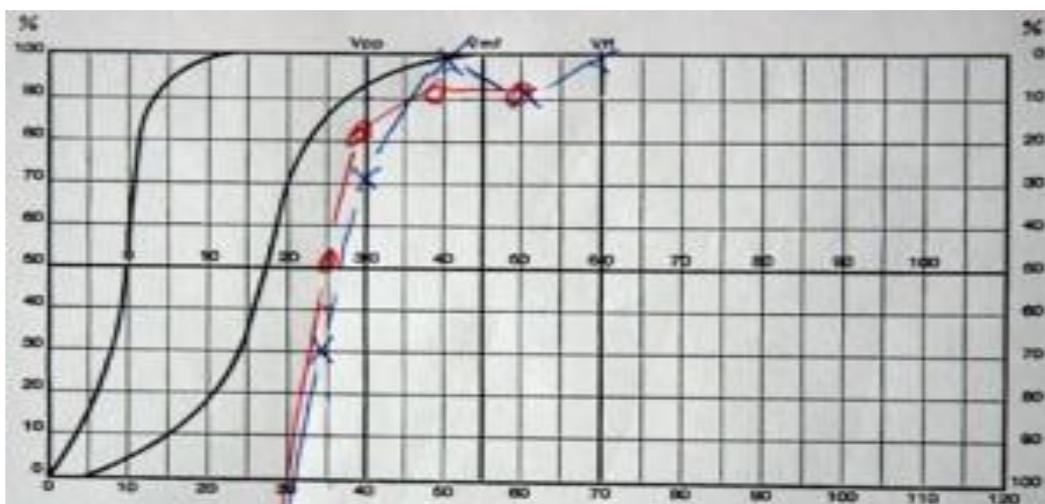
L'audiométrie vocale est très importante: lors de l'octroi d'un appareil auditif, elle recherche aussi le seuil de tolérance vocale, c'est-à-dire comment la compréhension de l'oreille peut être déformée en augmentant le volume des mots à répéter au-dessus de la limite supérieure de la compréhension.

**✓ L'évaluation vocale comprend [13] :**

1. Le seuil de détection de la parole (SDP) qui est le niveau d'audition auquel le client est capable de détecter la présence des stimuli vocaux (la personne « entend quelque chose »).

2. Le seuil de reconnaissance ou l'identification de la parole (SRP) : correspond au niveau d'audition auquel le client est capable d'identifier 50 % d'une courte série de mots qu'il a entendus immédiatement avant ce présent test.

3. L'épreuve de la reconnaissance maximale de mots informe l'audiologiste sur la capacité de l'oreille à distinguer les mots. Les résultats sont exprimés en pourcentage de mots compris au niveau confortable pour le client. À noter que cette liste de mots est standardisée, c'est-à-dire partout la même. Ce test mesure le pourcentage de la capacité d'identification de la parole dans diverses situations d'écoute, c'est-à-dire dans le silence ou en présence de bruits.



**Figure II-5: Exemple d'un audiogramme vocal [13]**

## II-2- L'audiométrie objective [10] :

Malheureusement, certains simulateurs peuvent passer au travers de ces épreuves, en particulier ceux qui simulent une surdité totale bilatérale. Seuls les procédés objectifs pourront, en dehors de la conscience du sujet, servir alors l'otologiste.

Nous citerons, pour mémoire, la méthode des réflexes qui permet, grâce au mouvement reflexe des paupières lors de l'audition inattendue d'un son bruyant, de dépister une simulation.



Figure II-6 : Examen d'audiométrie objective.

### II-2-1- L'impédancemétrie :

L'impédancemétrie est une technique permettant d'explorer la complaisance de l'oreille moyenne (système tympano-ossiculaire). Cette complaisance, liée à l'élasticité du système tympano-ossiculaire, est altérée en cas de lésion du tympan, de la chaîne des osselets, de la platine de l'étrier... ou encore en cas de mauvais fonctionnement de la trompe d'Eustache.

L'impédancemétrie permet aussi la recherche du réflexe stapédien (réflexe du muscle de l'étrier) qui apparaît normalement lorsque l'oreille est soumise à un stimulus sonore supérieur au seuil auditif de 80 à 95 dB. Ce réflexe stapédien constitue donc un moyen objectif de dépistage des surdités.

### II-2-2- Les techniques d'électrophysiologie :

Les procédés électroniques de sommation et de moyennage permettent d'extraire du « bruit de fond » une réponse physiologique de faible voltage mais dont le délai d'apparition après le stimulus est constant. Peuvent être ainsi détectés :

- l'électrocochléogramme (potentiel d'action du nerf auditif)
- les potentiels d'action du tronc cérébral
- les potentiels évoqués auditifs corticaux.

### **II-3- L'audiométrie avancée [12] :**

#### **II-3-1- L'audiométrie en champ libre :**

L'audiométrie en champ libre est effectuée en cabine insonorisée avec un ou plusieurs hauts parleurs en fonction du test pratiqué. L'audiométrie en champ libre est représentative du niveau global de l'audition. Elle utilise les mêmes protocoles de relevé de seuils que l'audiométrie au casque.

#### **II-3-2- Évaluation audiométrique de la lecture labiale :**

L'évaluation de la lecture labiale se fait dans trois conditions : audition seule, audition avec lecture labiale, lecture labiale seule, en utilisant des tests en liste ouverte : mots isolés, phrases, voire lecture indirecte minutée, très utilisée dans les implants cochléaires et qui a l'avantage d'être proche d'une conversation courante.

#### **II-3-3- Audiométrie hautes fréquences :**

Ce test consiste à rechercher le seuil d'audition entre 8 et 16, voire 20 kHz. Les difficultés tiennent à la calibration<sup>20</sup> des appareils, au caractère peu courant de ces stimuli dans la vie quotidienne, et à la grande sensibilité des réponses au positionnement des Ecouteurs.

## **III – Test auditif**

### **III-1- Installation du patient [14] :**

#### **III-1-1- Mise en place des écouteurs :**

L'écouteur marqué d'un repère rouge est destiné à l'oreille droite, le bleu à l'oreille gauche (Conduction aérienne). Il faut bien prendre soin de dégager les cheveux autour des oreilles de manière à obtenir un bon contact du joint de caoutchouc.

#### **III-1-2- Mise en place du vibreur :**

Pour étudier la « conduction osseuse » d'une oreille donnée, l'on doit placer le vibreur sur la mastoïde du même côté. Par contre, pour la réalisation du test de Weber, le vibreur devra être placé (fil en bas) au milieu du front du patient, où il sera maintenu par l'arc qui fait ressort.

### III-1-3- La réponse du patient :

Le patient, ne devant voir ni les gestes du manipulateur, ni l'appareil, répondra au test en levant la main droite lorsqu'il entendra un son dans l'oreille droite ou la main gauche lorsqu'il entendra un son dans l'oreille gauche, ou encore les deux mains lorsqu'il entendra le son dans les deux oreilles simultanément. Le sujet aura pour consigne de lever la main dès qu'il percevra le son et de la baisser dès que ce son s'arrêtera. Il est aussi possible d'utiliser le bouton-poussoir de réponse, particulièrement lorsque le mode automatique est utilisé. Chaque pression sur ce bouton allume un témoin sur le pupitre de commande de l'audiomètre, et provoque (en mode automatique) la mise en mémoire de la réponse.

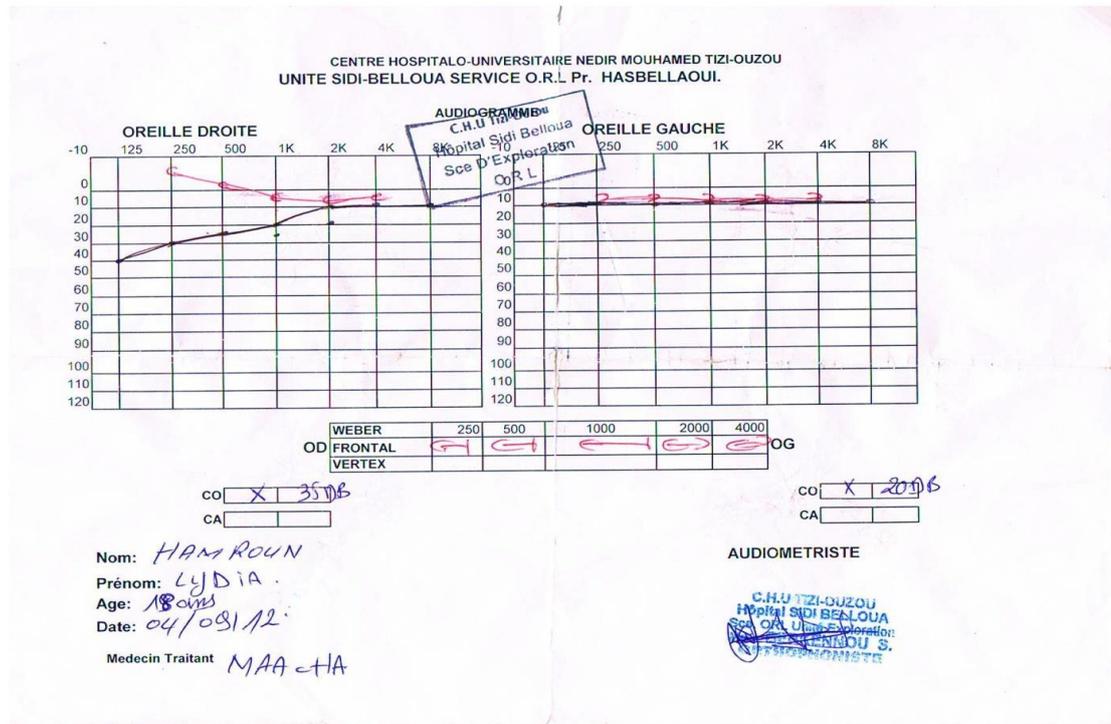
### III-2- l'examen d'audiométrie classique :

#### III-2-1-Déroulement de l'examen :

- ❖ L'examen dure environ une heure et se déroule chez un médecin ORL dans une cabine insonore dans laquelle vous êtes assis(e). Une vitre vous permet de voir le testeur et vous pouvez communiquer ensemble par un micro. Vous êtes ainsi complètement isolé des bruits ambiants, prenez garde à ne pas vous endormir si vous êtes fatigué(e) !
- ❖ Un casque est placé sur vos oreilles. A l'aide d'un audiomètre, l'opérateur vous envoie des sons de différentes intensités mesurées en Décibel. Ces sons sont transmis à vos oreilles à l'aide d'écouteurs situés dans le casque. Les sons envoyés via les écouteurs atteignent l'oreille interne après avoir cheminé par voie aérienne à travers le conduit auditif externe (oreille externe) puis le tympan et la chaîne des osselets (oreille moyenne). On parle de conduction du son "par voie aérienne".
- ❖ Le volume des sons diminue progressivement jusqu'à ce que vous ne les entendiez plus. Lorsque vous percevez le son, vous devez lever le doigt et le baisser quand vous ne l'entendez plus. L'opérateur inscrit alors un point sur l'audiogramme : il s'agit de votre seuil d'audition pour une fréquence donnée. Sont testées les différentes fréquences de la parole humaine qui vont de 125 Hz (son grave) à 8 000 Hz (son aigu).
- ❖ Les oreilles sont évaluées l'une après l'autre et, afin qu'il n'y ait pas d'interférence, différents sons à type de "brouillage" sont envoyés dans l'oreille non testée afin de la neutraliser. Les différents points ou "seuil de perception minimal" sont ensuite reliés et l'on obtient une courbe qui permet de quantifier votre déficit auditif par rapport à un sujet normal.
- ❖ Dans un second temps, votre audition est aussi évaluée à l'aide d'un vibreur posé directement sur la mastoïde (os situé juste derrière le pavillon de votre oreille). Contrairement à la conduction "par voie aérienne" évaluée précédemment, les sons

produits par le vibreur sont transmis à l'oreille interne "par voie osseuse" (à travers l'os de la mastoïde).

• Exemple de pratique



On remarque dans cet exemple une défaillance de l'acuité auditive au niveau de l'oreille droite, surtout pour les basses fréquences de 125 Hz jusqu' à 1 kHz pour la conduction aérienne et osseuse. D'après le diagnostic médical le patient souffre d'une surdité de transmission de l'oreille droite.

### III-2-2- Audiogramme [15] :

L'audiogramme est un graphique qui donne une description détaillée de votre capacité auditive et qui peut être décrit comme étant la sensation de votre ouïe.

#### III-2-2-1- Lecture d'audiogramme

L'audiogramme consiste à faire entendre un son de fréquence pure avec une intensité de plus en plus forte, pour apprécier à partir de quelle intensité le patient commence à percevoir cette fréquence. Ce seuil auditif dit "liminaire" s'exprime en décibels (dB) par rapport à l'audition des sujets normaux. Cette perte s'exprime en dB HL (Hearing Level). Pour chacune des fréquences (de 125 Hz à 8 000 Hz) et des oreilles, on évalue également le seuil douloureux ou inconfortable qui, chez le sujet normal, est d'environ 100 dB (une intensité dangereuse pour l'oreille).

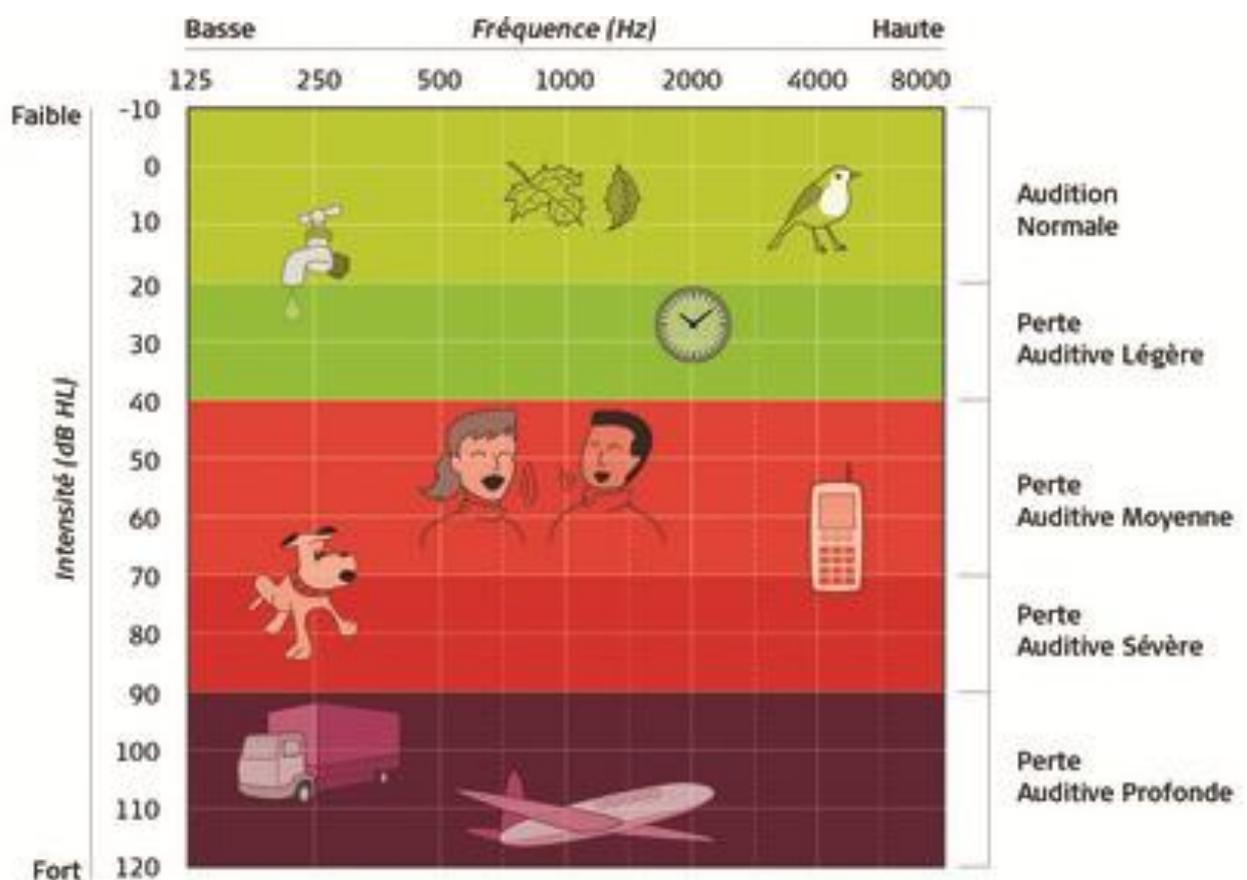
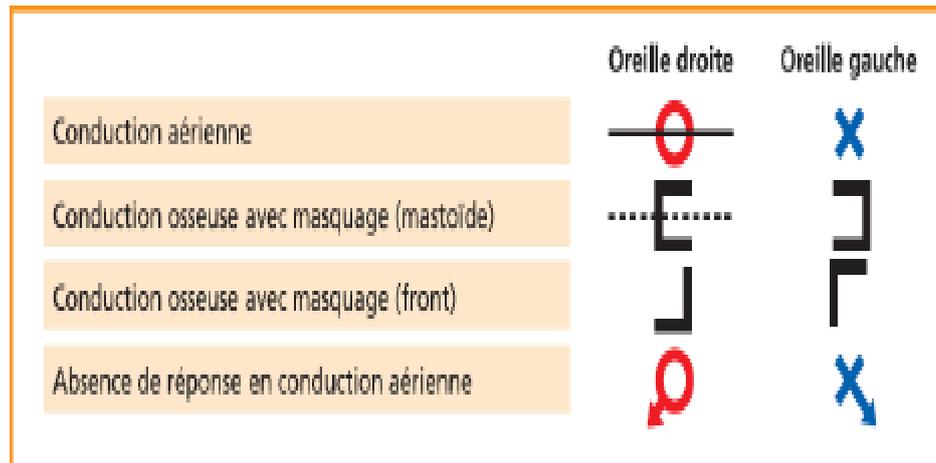


Figure II-7 : Représentation d'un audiogramme [15]

**III-2-2-2- Notations des résultats :**

La représentation graphique indique les pertes auditives en dB HL en ordonnée, et les fréquences testées en abscisse. Le rapport d'échelles du graphique doit être de 20 dB par octave. Le seuil pour chaque fréquence est noté avec les conventions graphiques. Les seuils en conduction aérienne sont reliés par un trait plein, les seuils en conduction osseuse sont reliés par un trait pointillé.



**Figure II-8: Résultats sur un audiogramme**

**III-2-3- Calcul de la perte auditive :**

Aux Etats-Unis, la formule la plus largement acceptée pour mesurer la limitation fonctionnelle liée à la perte auditive est celle proposée en 1979 par l'Académie américaine d'otolaryngologie (American Academy of Otolaryngology (AAO)) et adoptée par l'Association médicale américaine (American Medical Association). Elle utilise une moyenne des valeurs concernant les fréquences de 500, 1 000, 2 000 et 3 000 Hz (voir tableau). La limite inférieure à partir de laquelle on parle d'atteinte fonctionnelle est placée à une perte de 25 dB.

	Fréquence (103Hz)						
	0.5	1	2	3	4	6	8
Oreille droite (dB)	25	35	35	45	50	60	45
Oreille gauche (dB)	25	35	40	50	60	70	50
<b>Atteinte unilatérale</b>							
<b>Pourcentage d'atteinte unilatérale = (moyenne dB à 500, 1 000, 2 000 et 3 000 Hz) - 25 dB (limite inférieure) × 1,5</b>							
<b>Exemple:</b>							
<b>Oreille droite: <math>[(25 + 35 + 35 + 45)/4] - 25 \times 1,5 = 15</math> (%)</b> <b>Oreille gauche: <math>[(25 + 35 + 40 + 50)/4] - 25 \times 1,5 = 18,8</math> (%)</b>							
<b>Atteinte bilatérale</b>							
<b>Pourcentage de l'atteinte bilatérale = {(pourcentage de la perte unilatérale pour la meilleure oreille × 5) + (pourcentage de la perte unilatérale pour la moins bonne oreille)}/6</b>							
<b>Exemple:</b>							
<b><math>\{(15 \times 5) + 18,8\}/6 = 15,6</math> (%)</b>							

**Figure II-9 : Exemple de calcul de l'atteinte fonctionnelle à partir d'un audiogramme**

### **Conclusion :**

L'examen audiométrique est le plus important test d'exploration de l'audition humaine, il est réalisé à l'aide d'un appareil nommé Audiomètre qui permet d'évaluer la déficience de l'acuité auditive chez un patient par voie aérienne et osseuse.

La réalisation d'un audiomètre de précision nécessite une carte de son de haute qualité et fiabilité. Dans notre cas nous avons utilisé la TMS320C6713 DSK.

# Chapitre III

## Conception Matérielle et Logicielle

## Introduction

L'objectif principal de ce travail est la conception d'un Audiomètre Virtuel sur PC (**version software**) capable de faire une mesure de l'acuité auditive comparable à celle obtenue par les audiomètres classiques.

Il est basé sur l'utilisation des périphériques internes du **PC (carte son)** Il produit de manière fidèle des sons de stimulation (**son purs et bruits de masquage à fréquences et intensités ajustables**) utilisés pour la mesure de la conduction aérienne et osseuse de l'audition d'un patient dont on a utilisé la carte de son externe de type TMS320C6713DSK vu qu'elle plus puissante que la carte son standard pour la génération des sons et vibrations a la sortie du vibreur B-71 pour la conduction osseuse . Et le logiciel de développement graphique LABVIEW pour la conduction aérienne.

D'où il permet aussi la gestion des données du patient et des operateurs à travers des interfaces ergonomiques conviviales et simples à utiliser.

L'évaluation du logiciel a été faite par des tests pratiques d'audition sur des patients normaux et malentendants au niveau du cabinet médicale **O.R.L** du Docteur **SADOUDI. H** les audiogrammes sont comparés avec ceux obtenus par l'audiomètre classique .les résultats on été assistés et évalués par un médecin spécialiste.

### I- Description de la carte de son TMS320C6713DSK :

#### I-1- Définition :

La plateforme TMS320C6000 des processeurs de signaux numériques fait partie de la famille TMS320 de TEXAS INSTRUMENTS. Elle comporte les processeurs TMS320C62x à arithmétique fixe et TMS320C67x a arithmétique flottante. Le TMS320C6713 est considéré comme le membre le plus performant de la catégorie C67x, son architecture VLIW lui permet le traitement par paquets de huit instructions en parallèle par huit unités fonctionnelles.

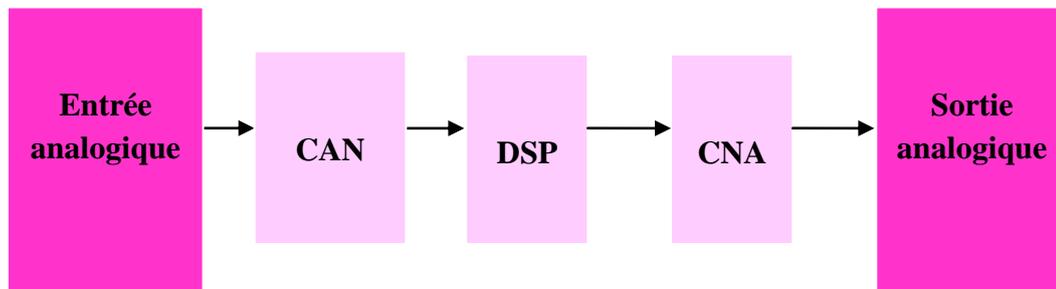
#### I-2- Les Caractéristiques d'un processeur DSP :

Un DSP est un processeur dont l'architecture est optimisée pour effectuer des calculs complexes en un cycle d'horloge, mais aussi pour accéder très facilement à un grand nombre d'entrées-sorties (numériques ou analogiques).

Il possède aussi quelques caractéristiques assez spécialisées :

- La possibilité d'être utilisé comme un périphérique accédant directement à la mémoire dans un environnement hôte.

- Peut acquérir les données numériques d'un convertisseur analogique-numérique (CAN), appliquer un traitement à ces données et les restituer au monde extérieur grâce à un convertisseur numérique-analogique (CNA).
- Exécution rapide des boucles.



**Figure III-1 : Chaîne d'un système de traitement numérique de signal**

Les DSP peuvent être combinés avec d'autres composants dans le même boîtier. Par exemple, un ou plusieurs DSP peuvent être combinés avec un microprocesseur classique et des convertisseurs CAN et CNA. Ce type d'assemblage (circuits intégrés dédiés) permet de réduire les coûts dans des fabrications de grande série. Les fonctions de traitement de signal peuvent également être réalisées à l'aide de FPGA, qui peut incorporer des « cœurs DSP » (en général des MAC).

### **I-3- Les Avantages d'un processeur DSP :**

Tous les systèmes à bases de DSP bénéficient des avantages suivants :

- **Souplesse de la programmation:**

Un DSP est avant tout un processeur exécutant un programme de traitement du signal. Ceci signifie que le système bénéficie donc d'une grande souplesse de développement.

- **Implémentation d'algorithmes adaptatifs:**

Une autre qualité issue de la souplesse des programmes. Il est possible d'adapter une fonction de traitement numérique en temps réel suivant certains critères d'évolutions du signal (exemple : les filtres adaptatifs).

- **Stabilité:**

En analogique, les composants sont toujours plus ou moins soumis à des variations de leurs caractéristiques en fonction de la température, de la tension d'alimentation, du

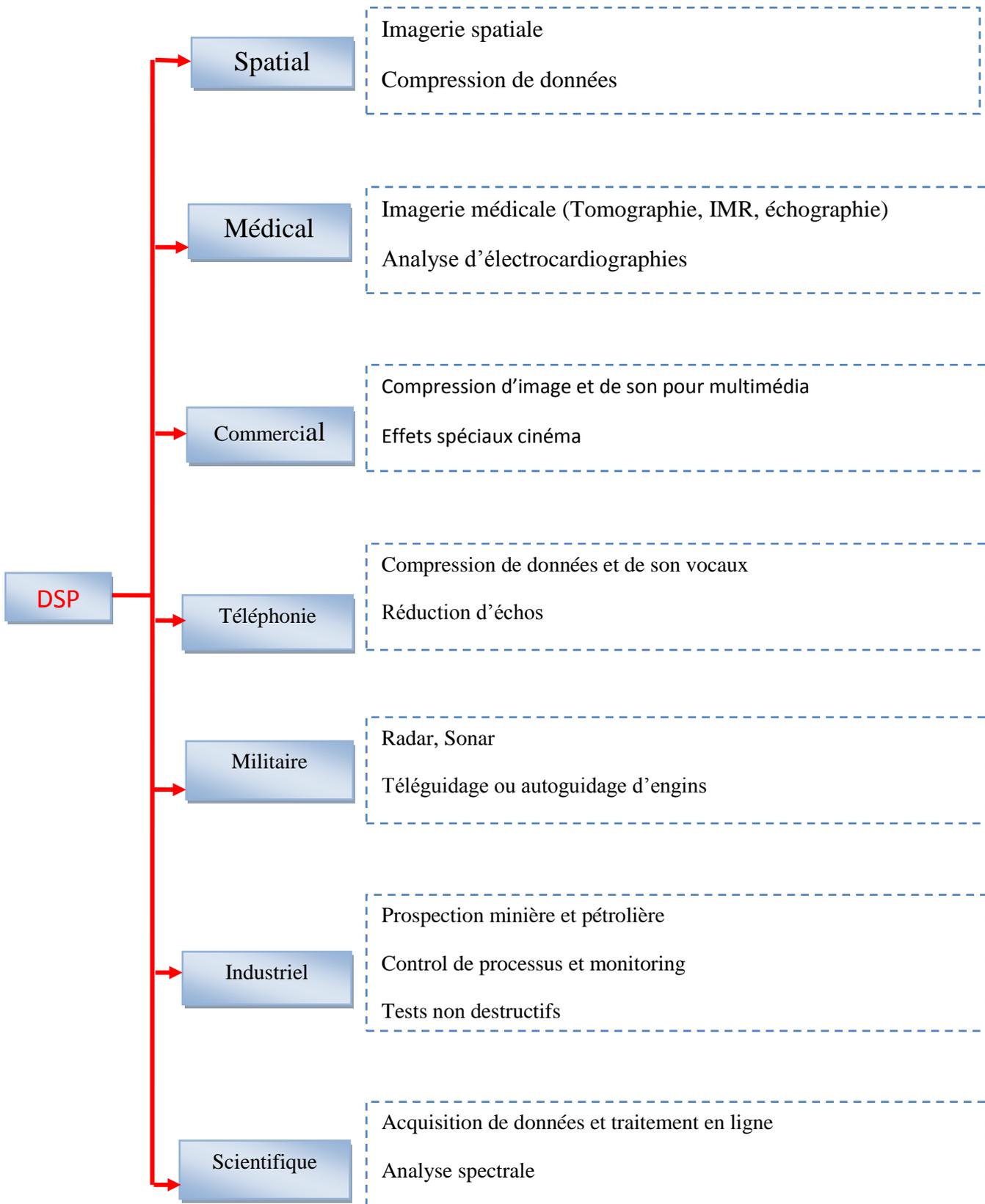
vieillesse, etc. Une étude sérieuse doit tenir compte de ces phénomènes, ce qui complique et augmente le temps de développement. Ces inconvénients n'existent pas en numérique.

#### **I-4-Principales distinctions entre un DSP et un microprocesseur classique :**

- Contrairement au microprocesseur classiques, un DSP réalise le MAC en un cycle d'horloge grâce à un circuit multiplieur.
- Un DSP réalise plusieurs accès mémoire en un seul cycle, grâce à l'architecture Harvard (à comparer avec l'architecture Von Neumann des microprocesseurs classiques).
- Contrairement aux microprocesseurs classiques, la plupart des DSP n'ont pas besoin de consommer des cycles d'horloge pour tester la valeur du compteur de boucle. Ceci est effectué par un circuit on-chip.
- Les DSP bénéficient des modes d'adressage adaptés aux algorithmes de traitement du signal (circulaire, inversion de bits, ...).
- Dans les microprocesseurs classiques, l'utilisation de la mémoire Cache et la prédiction des branchements sont effectuées par des circuits logiques, et peuvent changer d'un programme à l'autre. Ceci rend impossible la prédiction du temps d'exécution d'un programme, ce qui est primordial pour une application en temps réel.
- La plupart des DSP sont équipés des interfaces entrée/sortie numériques.

**I-5-Les applications d'un processeur DSP :**

En plus de ces avantages un dsp est utilisé dans plusieurs applications de la vie quotidienne et ce schéma illustre les différents domaines d'applications.



**Figure III-2 : Les applications du DSP**

## I-6- Les Classifications d'un processeur (DSP) :

Il est impossible d'effectuer une classification « définitive » des DSP, car chaque constructeur met sur le marché tous les ans un nouveau composant qui surclasse les anciens ou les concurrents par la puissance de calcul, la rapidité (gestion du pipeline et fréquence d'Horloge), le nombre de registres, de ports série.

### I-6-1-Virgule fixe ou flottante

Un point essentiel des DSP est la représentation des nombres (les données) qu'ils peuvent manipuler. Il est possible de distinguer deux familles :

- **Les DSP à virgule fixe** : les données sont représentées comme étant des nombres fractionnaires à virgule fixe, (exemple -1.0 à +1.0), ou comme des entiers classiques. La représentation de ces nombres fractionnaires s'appuie la méthode du « complément à deux ». L'avantage de cette représentation (qui n'est qu'une convention des informaticiens) est de permettre facilement l'addition binaire de nombres aussi bien positifs que négatifs.
- **Les DSP à virgule flottante** : les données sont représentées en utilisant une mantisse et un exposant. La représentation de ces nombres s'effectue selon la formule suivante :  $n = \text{mantisse} \times 2^{\text{exposant}}$ . Généralement, la mantisse est un nombre fractionnaire (-1.0 à +1.0), et l'exposant est un entier indiquant la place de la virgule en base 2 (c'est le même mécanisme qu'en base 10).

### I-6-2- Comparaison entre virgule fixe / flottante

Sur les DSP à virgule fixe, le programmeur doit rester vigilant à chaque étape d'un calcul. Ces DSP sont plus difficiles à programmer.

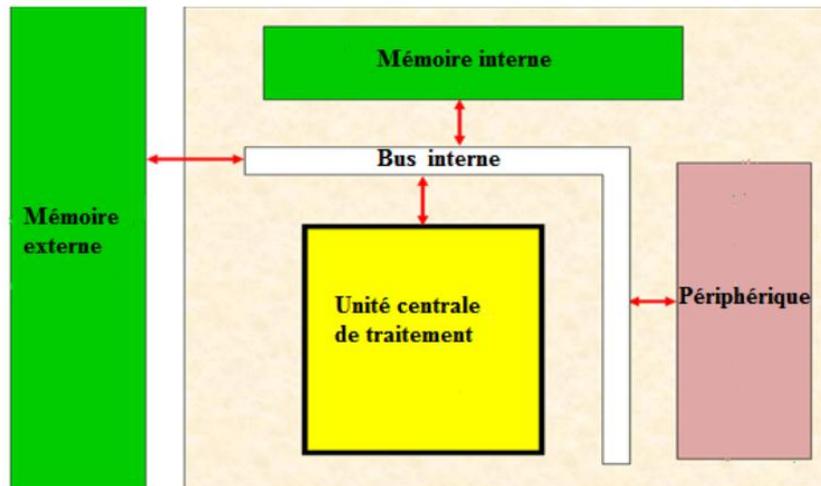
Les DSP à virgule flottante fournissent une très grande dynamique. Les DSP à virgule flottante sont plus chers et consomment plus d'énergie.

En termes de rapidité, les DSP à virgule fixe se placent d'ordinaire devant leurs homologues à virgule flottante, ce qui constitue un critère de choix important.

## I-7-L'architecture du Tms320c6713 :

Comme le montre la figure III.3 la TMS320C6713 est constituée de trois parties principales :

- L'unité centrale de traitement CPU.
- Les périphériques.
- La mémoire.



**Figure III-3 : Bloc diagramme de la TMS320C6713 [17]**

### **I-7- 1-Unité centrale de traitement (CPU) :**

Le CPU est constitué d'une unité de contrôle de programme, de deux unités fonctionnelles, de deux blocs de 16 registres de 32 bits, de contrôleurs d'interruptions et d'autres éléments.

#### **A- Unité de contrôle de programme :**

Elle est constituée des éléments suivants,

- Unité "**fetch**" programme : Elle a pour rôle récupérer les programmes. Cette opération se déroule en quatre phases :

- **Phase PG:** l'adresse du code est générée.
- **Phase PS :** l'adresse est envoyée à la mémoire.
- **Phase PW:** l'attente de lecture du code de la mémoire.
- **Phases PR :** la lecture du code.

-Unité "dispatche" de l'instruction: le code récupéré de la mémoire est affecté à l'unité fonctionnelle associée.

-Unité de décodage de l'instruction: elle a pour rôle de décoder l'instruction.

#### **B- Unités fonctionnelles :**

Le CPU contient huit unités: fonctionnelles divisées en deux parties 1 et 2. Leurs fonctions sont les suivantes:

- **Unités .M1 et .M2** : ces unités sont dédiées à la multiplication.
- **Unités .L1 et .L2** : ces unités sont dédiées à l'arithmétique et la logique.
- **Unités .D1 et .D2** : ces unités sont dédiées au chargement, la sauvegarde et calcul d'adresse.
- **Unités .S1 et .S2**: ces unités sont dédiées pour le décalage de bit, l'arithmétique, la logique et le branchement

### **C-Registre :**

Le CPU contient 32 registres de 32 bits divisés en deux blocs égaux : registre fichier A (A0-A15) et registre fichier B (B0-B15), leurs fonctions sont réparties comme suit :

- **Les registres A1-A2 et B0-B1-B2**: ils sont utilisés comme registres conditionnels.
  - **Les registres A4-A7 et B4-B7**: ils sont utilisés pour adressage circulaire.
  - **Les registres A0-A9, B0-B2 et B4-B9** : ils sont utilisés comme registres temporaires.
  - **Les registres A10-A15 et B10-B15** : ils sont utilisés pour la sauvegarde et la restitution de données d'un sous-programme.
- A ces 32 registres s'ajoutent les registres de contrôles et d'interruptions.

### **I-7-2- Les périphériques du TMS320C6713 :**

Le TMS320C6713 a plusieurs périphériques qui sont :

- **Le contrôleur DMA** : Il permet sans l'aide du CPU de transférer des données entre les espaces mémoire (interne, externe et des périphériques). Il a quatre canaux programmables et un autre canal auxiliaire.
- **Le contrôleur EDMA** : Il permet le transfert des données entre les espaces mémoire comme le DMA. Il a 16 canaux programmables.
- **L'interface port hôte HPI**. Il donne au processeur hôte un contrôle total pour un accès direct de l'espace mémoire du CPU et à la cartographie de la mémoire des périphériques du DSP.
- **Deux McBSP qui sont des ports séries multi-canaux protégés**. Ils permettent la communication avec les périphériques externes. Ils ont la même structure. Ils supportent une communication full-duplex.
- **L'interface de mémoire externe EMIF** : Il permet l'interface avec plusieurs éléments (mémoires) externes.
- **Les compteurs** : Le DSP possède deux compteurs qui peuvent être synchronisés par une source interne ou externe et ils sont utilisés comme générateurs de pulsations, compteurs

d'événements externes, interrupteurs du CPU après l'exécution de tâches et déclencheur du DMA/EDMA.

- **Les interruptions** : l'ensemble des périphériques contient jusqu'à 32 sources d'interruptions.

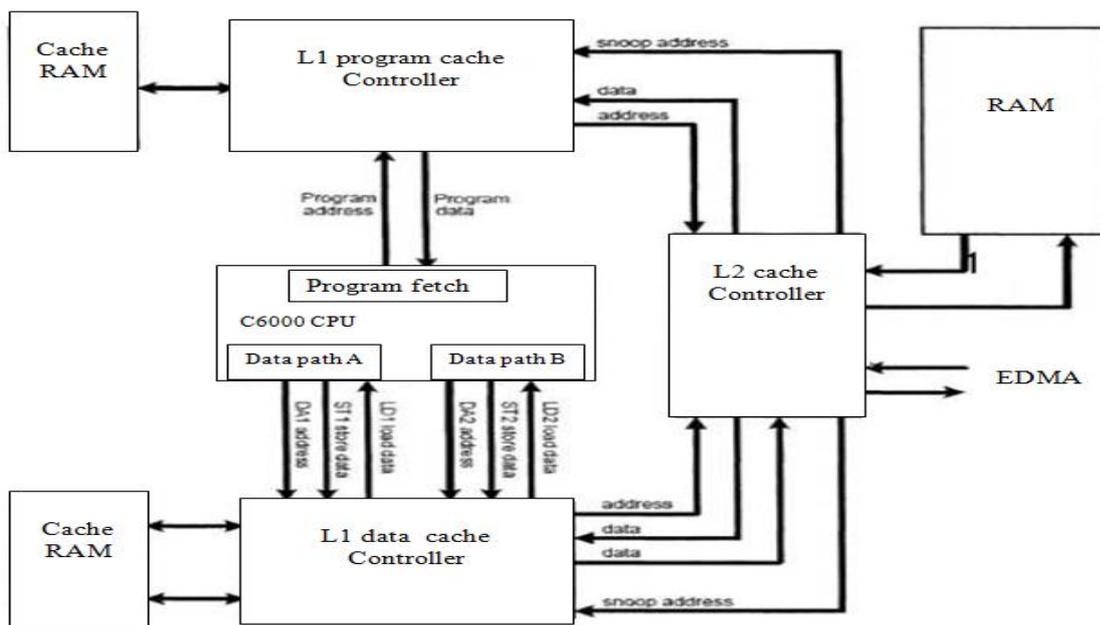
### I-7-3- La structure de la mémoire :

Le TMS320C6713 base sur l'architecture de Havard modifiée utilise une mémoire externe et une mémoire interne (**Figure III.7**).

- La mémoire externe occupe les espaces CEO, CE1, CE2, CE3.

- La mémoire interne a une taille de 260 KB qui est décomposée en deux niveaux :

- **Le niveau (L1)** est constitué de deux mémoires caches de 4 KB chacune, (L1P) qui est utilisée pour les programmes et (L1D) qui est utilisée pour les données.
- **Le Niveau (L2)** est composé de 256 KB de mémoire partagée entre mémoire des données et mémoire de programmes.



**Figure III-4: Organisation de la mémoire interne TMS320C6713 [18]**

Carte d'évaluation DSK est puissante, relativement peu coûteuse, avec les outils de support matériels et logiciels nécessaires pour le traitement du signal en temps réel.

Il s'agit d'un système DSP complet. Cette carte comprend le processeur de traitement numérique du signal, le TMS320C6713 à virgule flottante et un codec stéréo TLV320AIC23 (AIC23) de 32 bits pour l'entrée et la sortie (**Figure III.5**). Le codec AIC23 « utilisant une technologie sigma-delta » fonctionne comme un CAN pour les entrées analogiques et comme un CNA pour les sorties numériques du DSP. Il se connecte à une horloge système de 12 MHz. Le taux d'échantillonnage variable de 8 à 96 kHz et peut être réglé facilement. La

carte comporte un emplacement libre pour l'ajout d'un périphérique ou d'une carte additionnelle ("daughter card"), un emplacement pour ajouter de la mémoire, quatre LED ("Light-Emitting Diodes") ET quarter DIP switches ("Dual In-line Pin") programmable.

La carte DSK comprend 16 MB de mémoire synchrone dynamique a accès aléatoire (DRAM) et 256 MB de mémoire flash. Le DSK fonctionne a 225 MHz, il intègre un régulateur de tension qui fournit 1,26 V pour le noyau C6713 et 3,3 V pour la mémoire et les périphériques.

Le DSK dispose également de quatre prises audio jacks de 3,5 mm, deux pour les entrées: microphone (mono) et "line in" (stéréo), et deux pour les sorties : "speaker" (stéréo) et "line out" (stéréo). En fait les deux entrées (respectivement les deux sorties) renvoient les signaux au même port physique, c'est-à-dire au même signal d'entrée (respectivement de sortie). La seule différence entre microphone et "line in" (respectivement "speaker" et "line out") réside dans les impédances des ports. Autrement dit, on a quatre prises audio, mais une seule entrée et une seule sortie, chacune disponible avec deux impédances différentes.

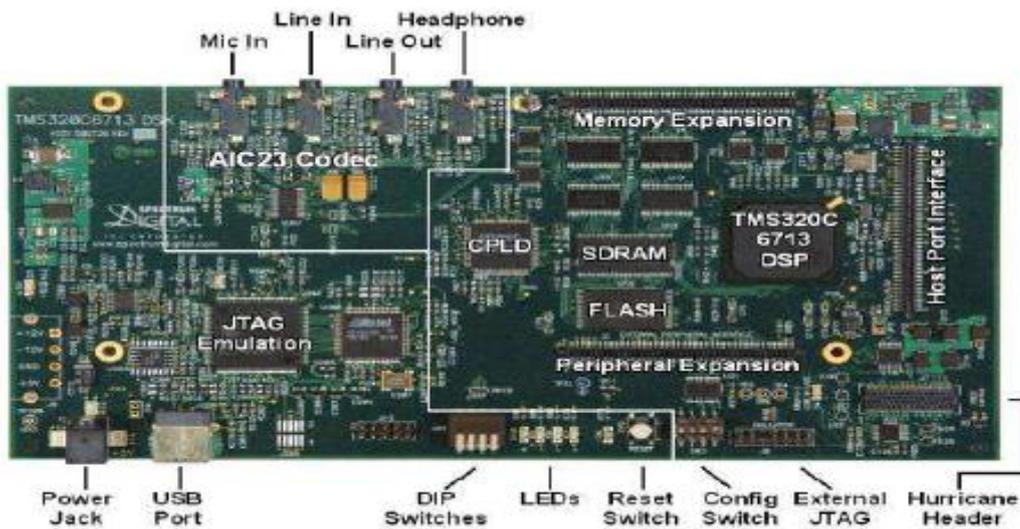
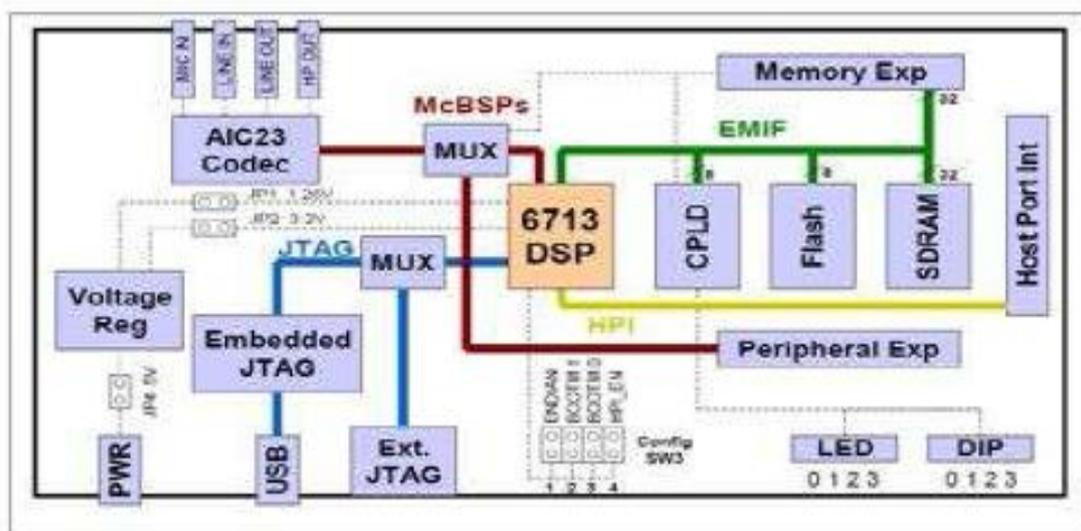


Figure III-5 : Blocks Diagramme du 6713 DSK [18]

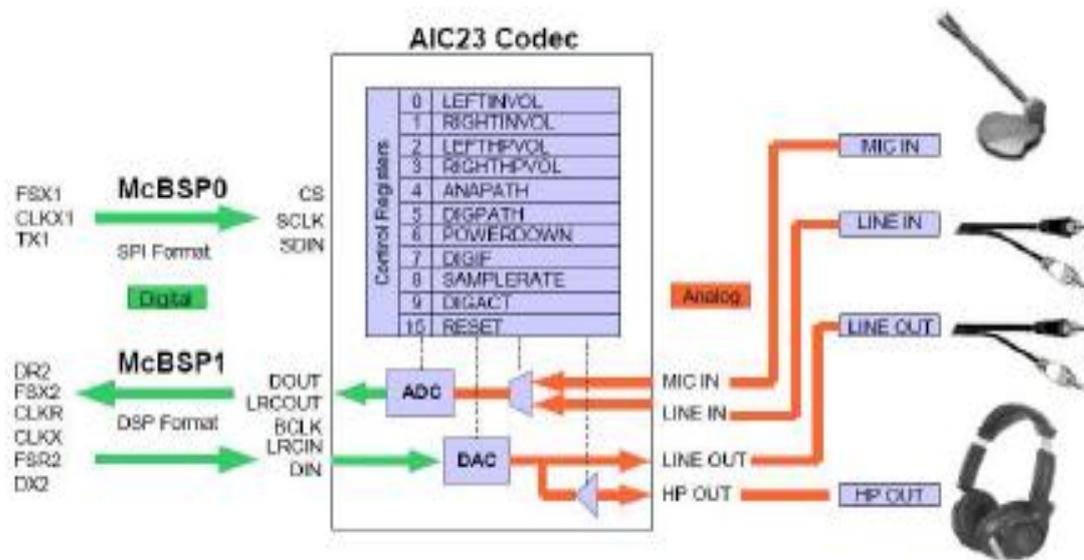


Figure III-6 : Code TLVALIC23 [18]

**I-8- Organisation de la mémoire du C6713 DSK :**

L'organisation de la mémoire de la carte C6713 DSK est décrite au niveau de la figure suivant :

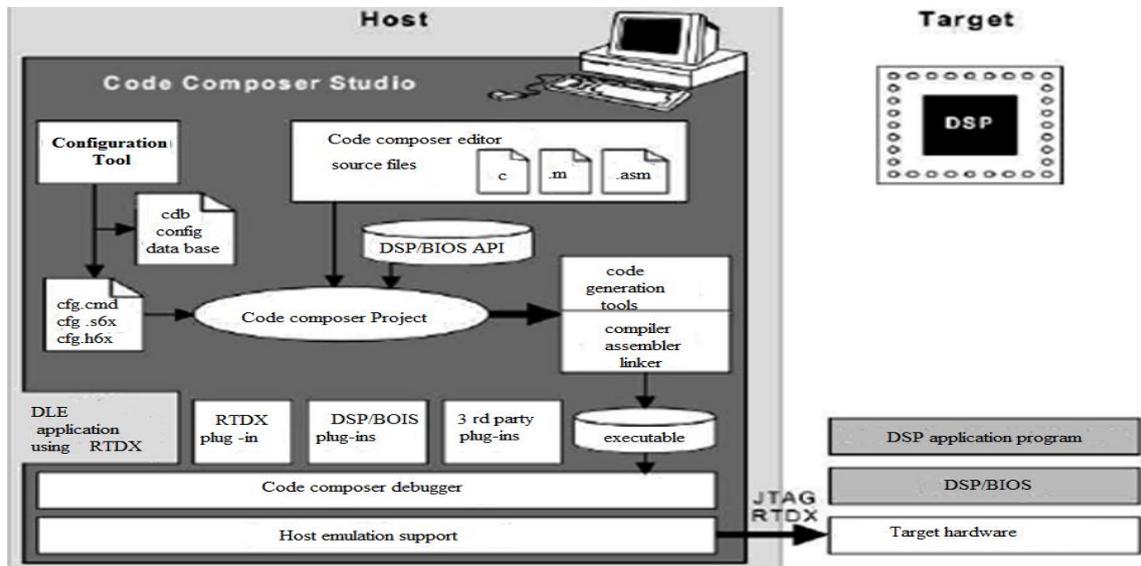
Address	C67x Family Memory Type	6713 DSK
0x00000000	Internal Memory	Internal Memory
0x00030000	Reserved Space or Peripheral Regs	Reserved or Peripheral
0x80000000	EMIF CE0	SDRAM
0x90000000	EMIF CE1	Flash
0xA0000000	EMIF CE2	CPLD
0xB0000000	EMIF CE3	Daughter Card

0x90080000

Figure III-7: Cartographie de la mémoire du C6713 [18]

### I-9- Le code composer studio :

L'évaluation des performances des algorithmes sur le DSP est effectuée en utilisant code composer studio (CCS), son fonctionnement est illustrée par la figure suivante :



**Figure III-8: Structure du système du développement du TMS320C6713**  
[18]

Logiciel Code Composer Studio est une plate-forme de développement qui inclut les éléments suivants,

- Environnement de développement intégré (IDE) : il permet l'édition ('built'), et la correction ('Debug ') des programmes destinés au DSP.

- Outils de génération du code pour le TMS320C6000 : ces outils sont le compilateur, l'assembleur et l'éditeur de lien. Le compilateur C/C++ permet de compiler le programme source (xxx.c) pour le convertir en assembleur (xxx.asm), l'assembleur reçoit le fichier xxx.asm et le convertit en langage machine ou fichier objet (xxx.obj), enfin l'éditeur de liens (linker) qui combine les fichiers objet et les fichiers librairies et le fichier xxx.cmd pour produire un fichier exécutable avec une extension. Out, c'est ce fichier qui sera chargé sur le processeur C6713 pour être exécuter.

- DSP/BIOS: c'est un outil d'analyse en temps réel, pour s'en servir, on doit créer un fichier de configuration 'xxx.cdb', où seront définis les objets utilisés par l'outil DSP/BIOS. Ce fichier permet aussi de faciliter l'organisation de la mémoire et la gestion du vecteur des interruptions, en offrant la possibilité de les faire sur un environnement visuel via la section de gestion de la mémoire MEM (Memory Section Manager), et via HWI (Hardware Interrupt Service Routine Manager) pour les interruptions.

- JTAG (Joint Team Action Group) et RTDX (Real Time Data Exchange) (voir Figure suivante): le RTDX permet un échange de données en temps réel entre l'hôte (PC par exemple) et la destination (la carte DSK dans notre cas), il permet aussi l'analyse et la visualisation des données au cours de l'exécution du programme, alors que le lien JTAG est

utilisé pour atteindre l'émulateur (qui se trouve à l'intérieur du DSP), c'est ce dernier qui permet au CCS de contrôler en temps réel l'exécution du programme.

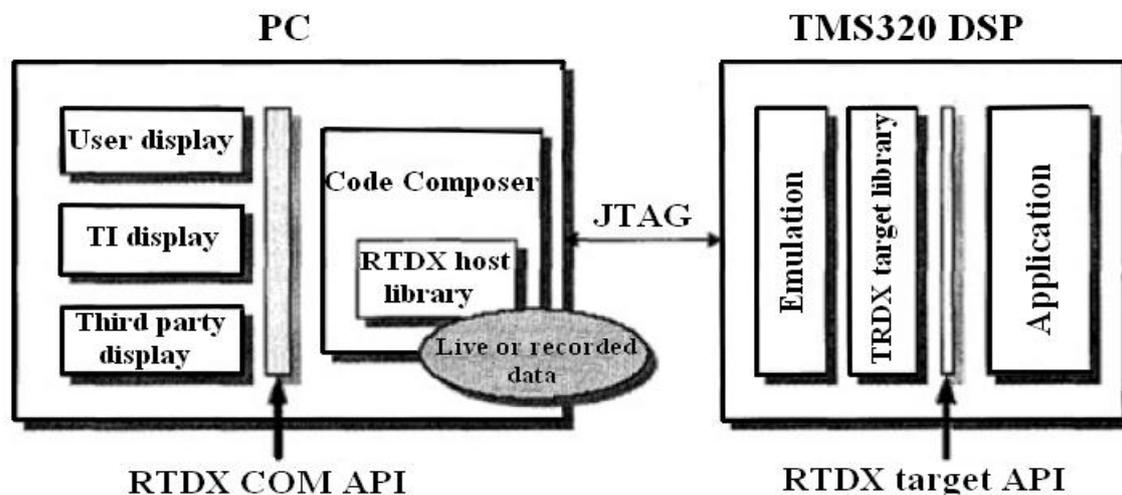


Figure III-9: L'outil JTAG [18]

## II- Conception de la conduction osseuse à l'aide d'un vibreur b-71 et la carte TMS 320C6713 DSK :

Dans cette partie nous avons présenté en détail la configuration de carte du son externe TMS320C6713 DSK. Ensuite, nous présentons un teste auditive pour la conduction osseuse avec un vibreur b-71 .Cette carte doit être connecté tout d'abord sur un logiciel 6713DSK Diagnostic. Elle se programme avec c/c++, langage assembleur .On pourrait de plus la configurer à l'aide le matlab /simulink grâce a une collaboration entre Texas Instruments Inc. et Math Works Corp. Cette collaboration a réduit immensément la complexité de programmation de la carte .Ainsi ; on pourrait concevoir un bloque fonctionnel d'un système en simulink ® et Matlab ® afin de configurer automatiquement la carte pour un traitement à temps réel. Cette carte est développée avec un code composer studio ccs v3.1 pour un Windows2000/XP et Matlab2007a. Pour que la carte DSP soit connectée on a suivi les étapes suivant :

### 1- Installation de code composer studio :

On a installé les trois produits : **C6000 Code Composer Studio,FlashBurn,** et **DSK6713Drivers &Target content** (Dans le dossier C:\C6713)

### 2- Connexion de la carte :

- Allumer la carte.
- Brancher le câble d'USB.

### 3- Test de la connexion de la carte :

On a lancé le code 6713 DSK Diagnostic. Puis appuyé sur << Start >> et on attend les feux verts.

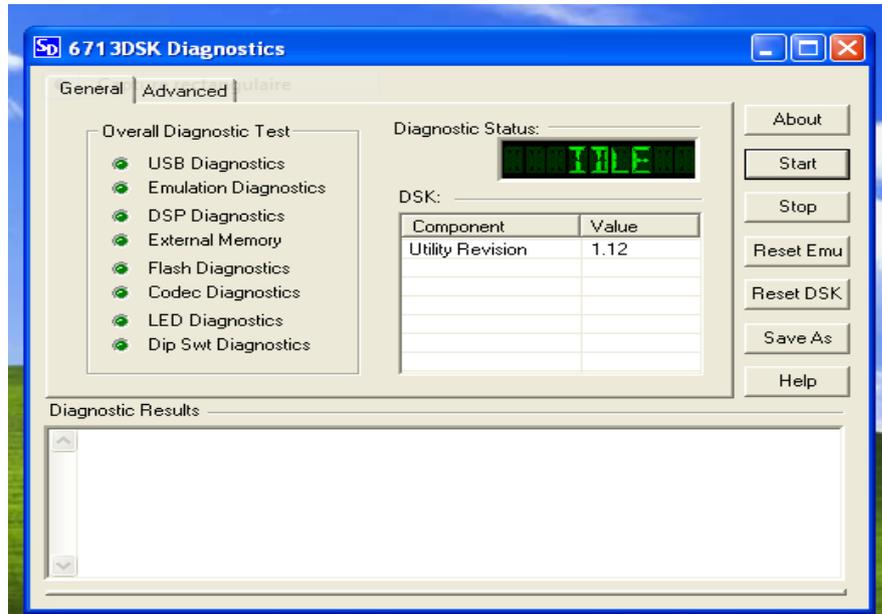


Figure III-10 : Diagnostic pour test de la carte

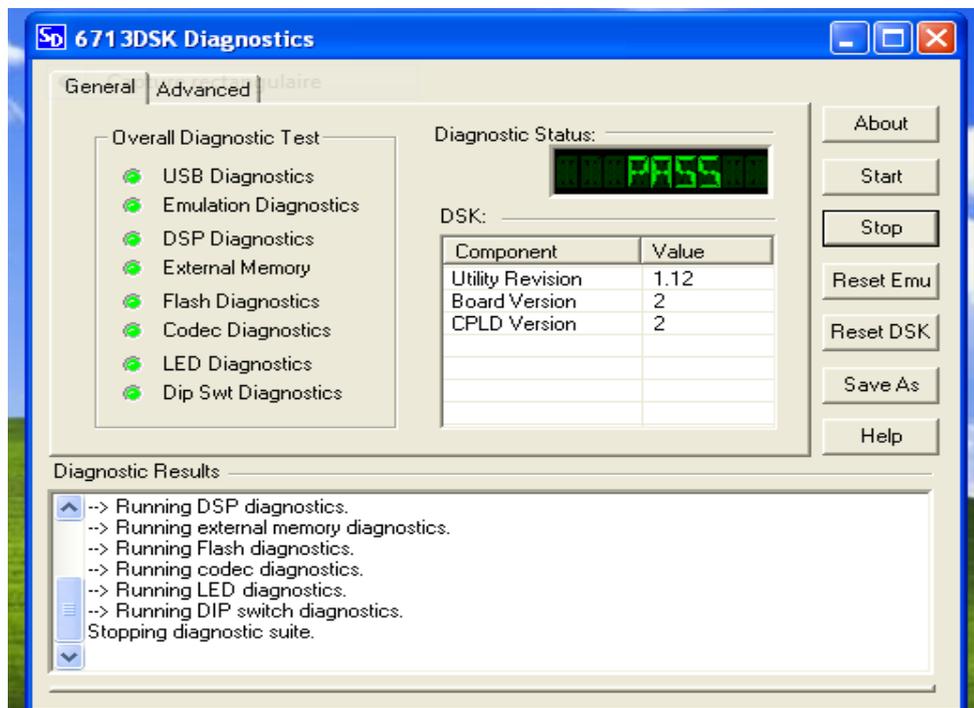


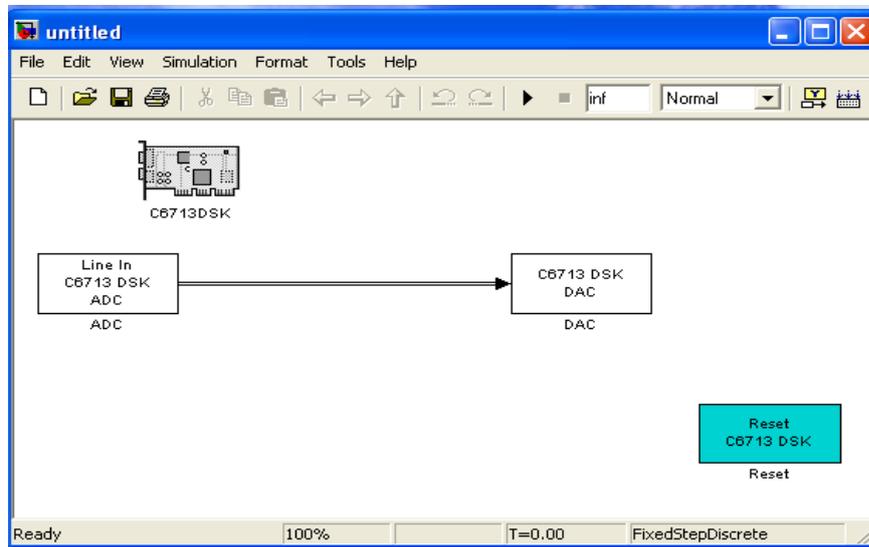
Figure III-11 : Fin de test

Après la fin du test de la connexion. On a appuyé sur << Stop >>. Et on a fermée la fenêtre.

#### 4- Programmation à l'aide du Matlab/Simulink :

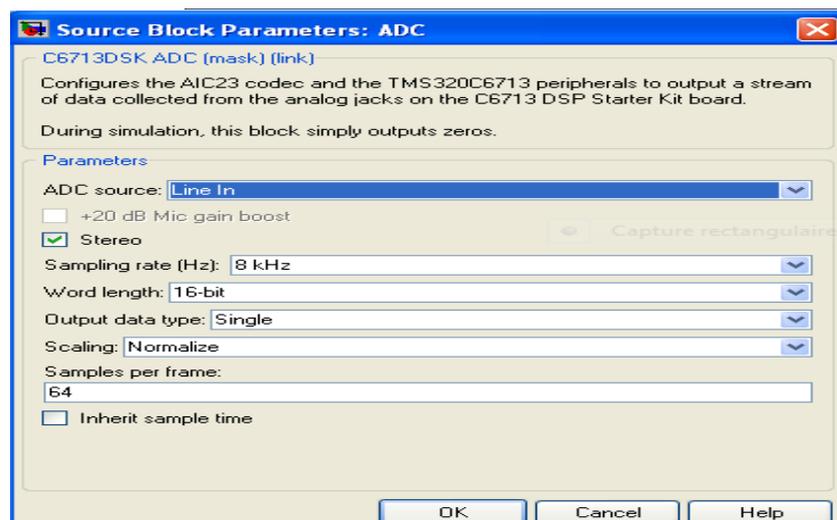
##### 4-1-Construire un système dans le simulink :

On a utilise simulink pour reproduire le système présenté dans la figure suivante.



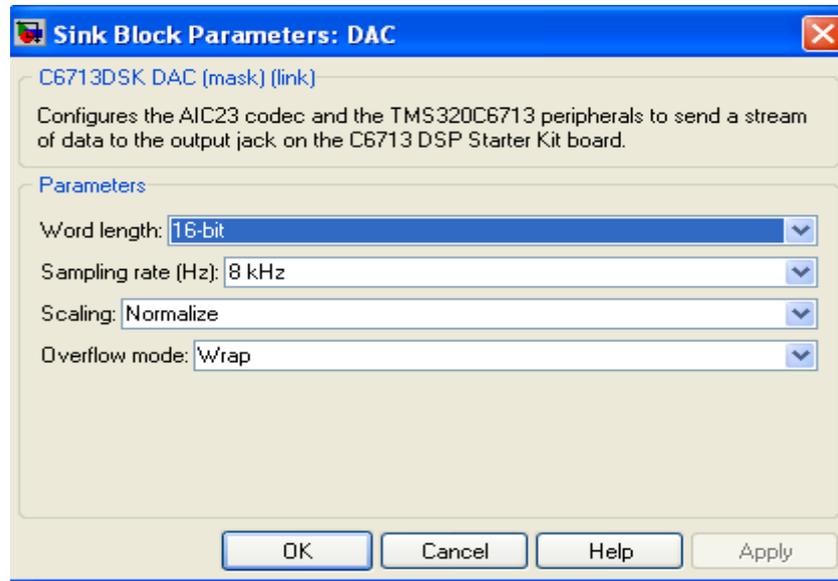
**Figure III-12: Schéma du système à réaliser**

La boîte 'ADC' de conversion A/N se trouve dans la librairie de simulink au (**Embedded Target for TI C6000 DSP/C6713 DSK Board Support /ADC**). Elle configure le code C de la carte pour l'acquisition du signal par la porte 'Line In'. Avec double-clique sur cette boîte et fixe les paramètres selon la figure suivante :



**Figure III-13: Paramètres de la boîte ADC.**

La boîte ‘DAC’ de conversion N/A se trouve dans la librairie de simulink au (**Embedded Target for TI C6000 DSP/C6713 DSK Board Support /DAC**).Elle configure le code C de la carte afin d’envoyer le signal à la porte ‘Line Out’ et Head phone de la carte DSP. Double – clique sur cette boîte et fixe les paramètres selon la figure suivante.



**Figure III-14: Paramètres de la boîte ADC.**

La boîte ‘C6713 DSK’, figure 1, se trouve dans la librairie de simulink au (**Embedded Target for TI C6000 DSP/C6000 Target Préférence / C6713 DSK**). Cet élément fournit un accès au hardware du processeur et permet de changer et configurer la carte DSP pour l’exécution en temps réel (**real –Time Workshop**).

En ajoutant cette boîte à notre modèle de simulink, une fenêtre s’ouvrira comme ci-dessous

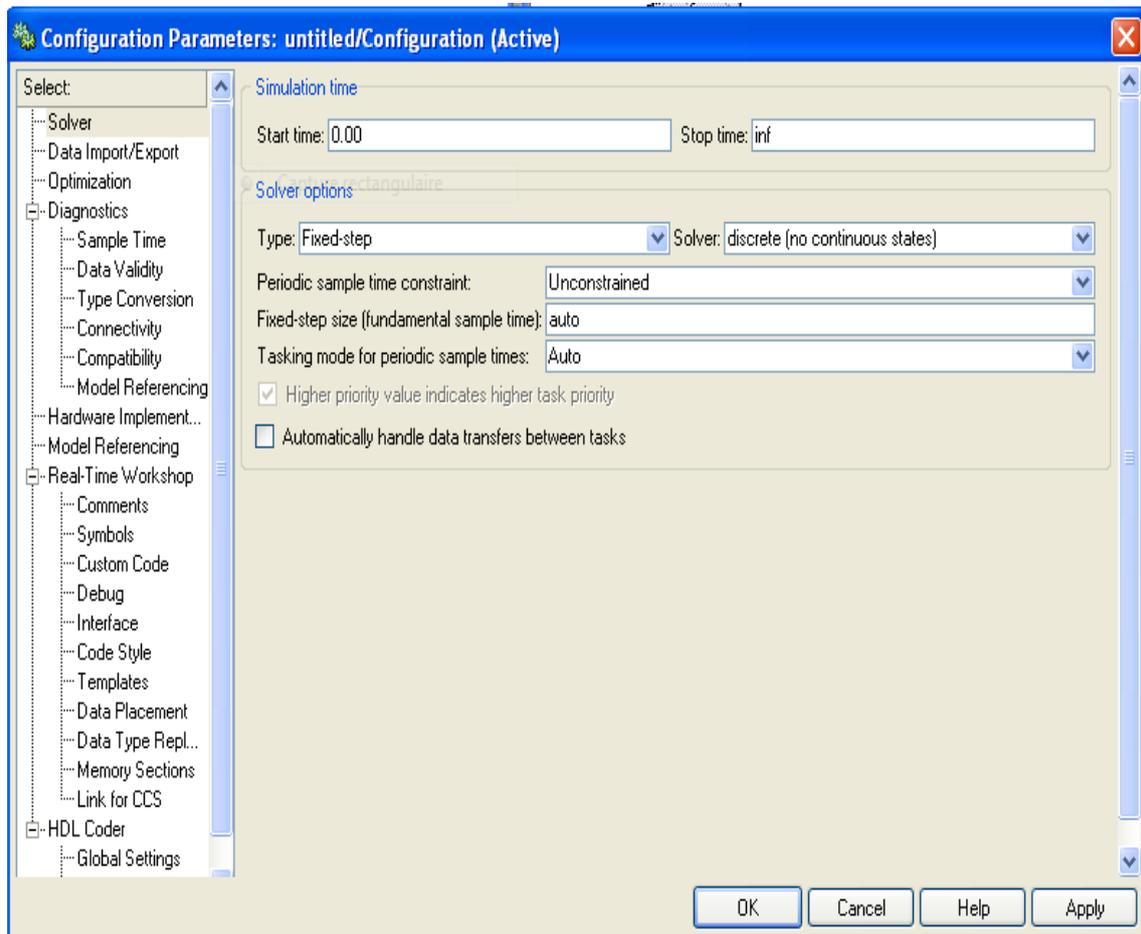


**Figure III-15: Initialisation des paramètres de simulation**

On clique sur ‘yes’ pour initialiser les paramètres de la simulation d’une façon pertinente à la carte utilisée.

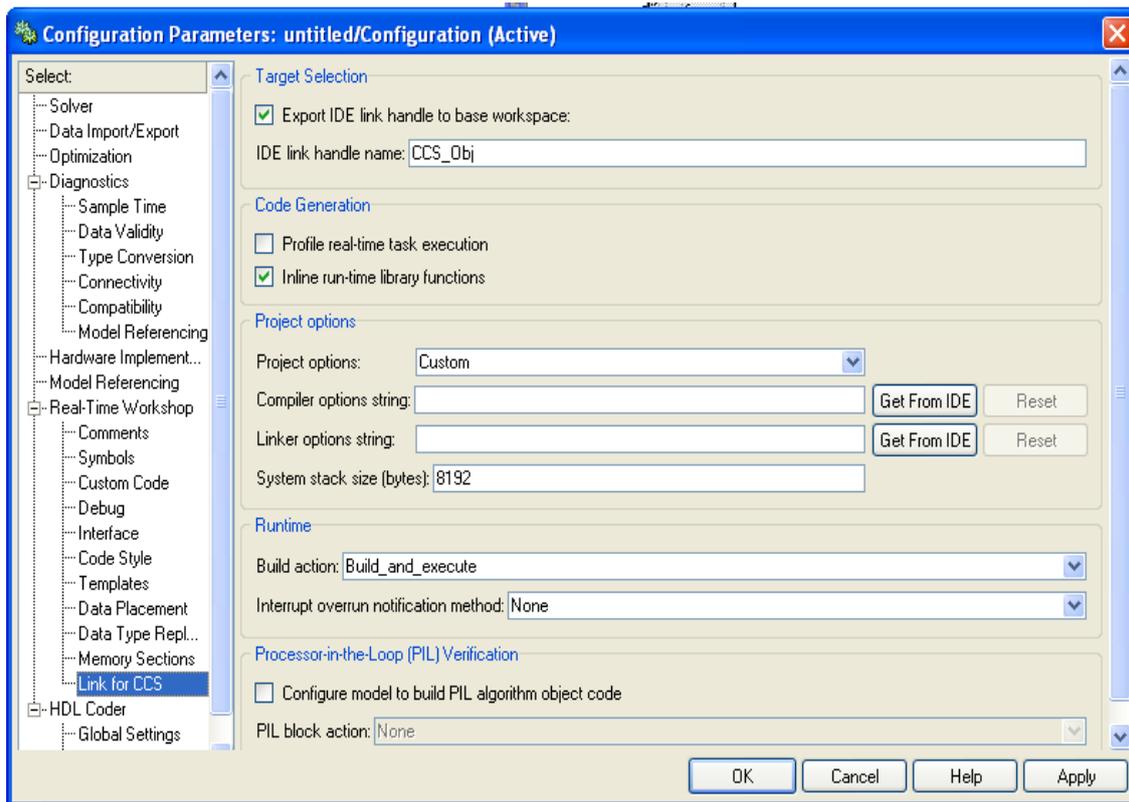
#### 4-2-Générer et charger le code sur la carte :

Pour générer le code du système crée ci-dessus, allons dans la fenêtre du simulink et choisissons dans le menu principal ‘**simulation**’ et on clique sur ‘**Configuration Paramètres**’. La fenêtre suivante s’ouvrira.



**Figure III-16: Fenêtre de configuration paramètre**

On s’assure que l’option ‘**incorporate DSP/BIOS**’ n’est pas choisie : on clique dans la liste à gauche de la fenêtre ‘**configuration paramètres**’ **figure IV -23**, sur ‘**TIC6000 Code Génération**’ et voire que la boîte de l’option ‘**Incorporate DSP/BOIS**’, n’est pas cochée sur la figure suivant et on clique sur ‘**Apply**’.



**Figure III-17 : Décochage de l'option 'Incorporate DSP/BOIS'**

Finalement, on clique dans la liste à gauche de la fenêtre 'configuration Paramètres' sur '**Real-Time Workshop**' et ensuite on clique sur '**Generate Code**' au bas et sur le côté droit de la fenêtre.

On clique sur le bouton indique exécuter le projet matlab simulink va compiler

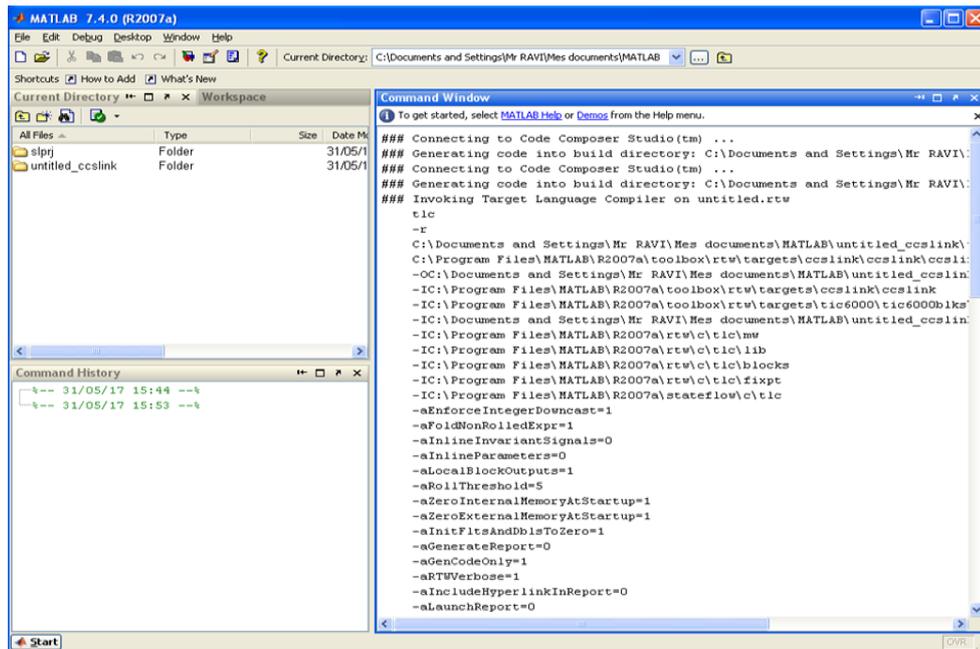


Figure III-18:Cette figure montre Le début de configuration sous Matlab

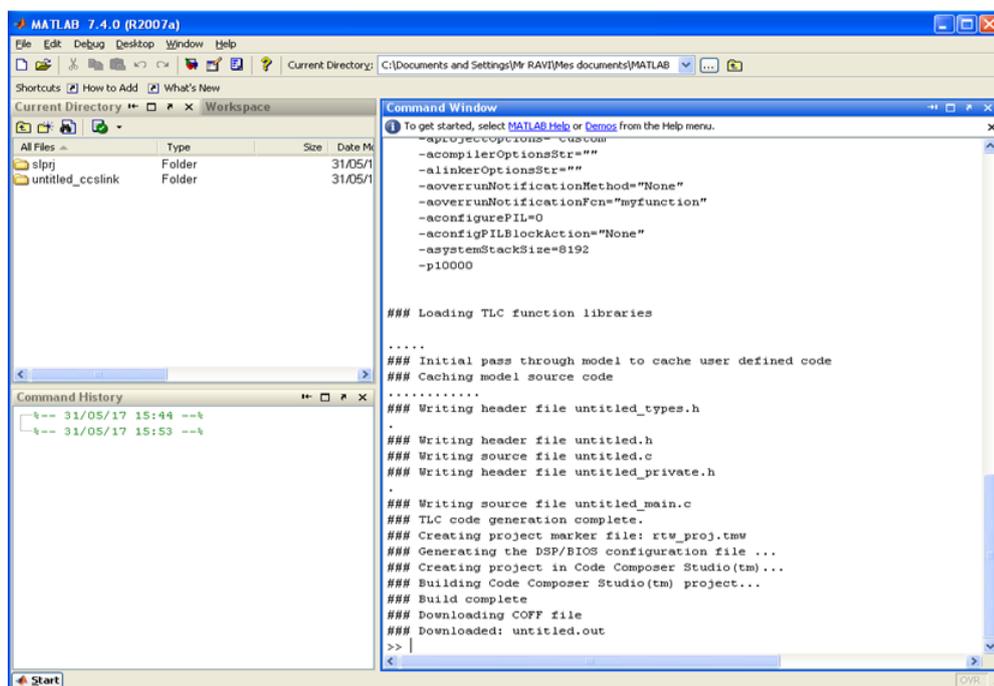
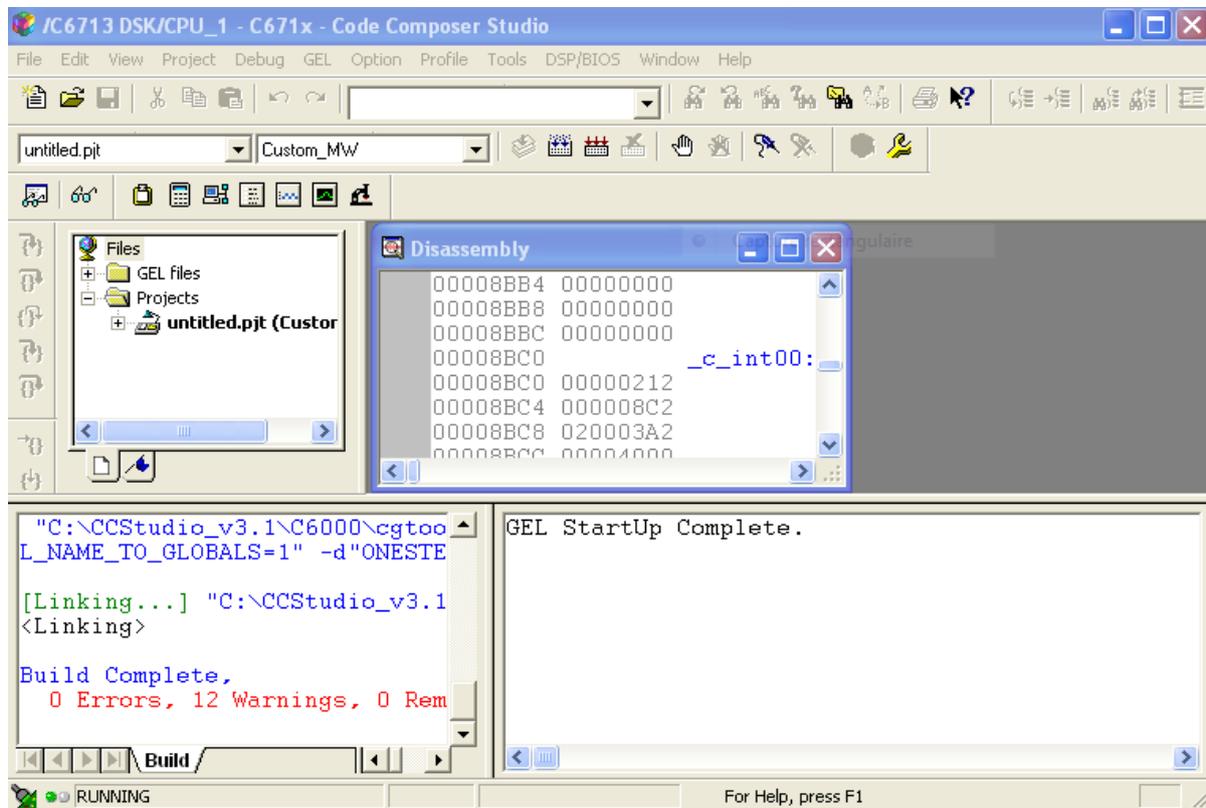


Figure III-19:Cette figure montre la fin de configuration sous Matlab

Matlab automatiquement génère le code, établie une connexion avec le code composer studio, écrit tous les fichiers de C/C++nécessaire pour le model, crée un nouveau projet ajoute les fichiers au projet et charge le programme sur la carte, figure suivante :



**Figure III-20: CC Studio après la construction du projet**

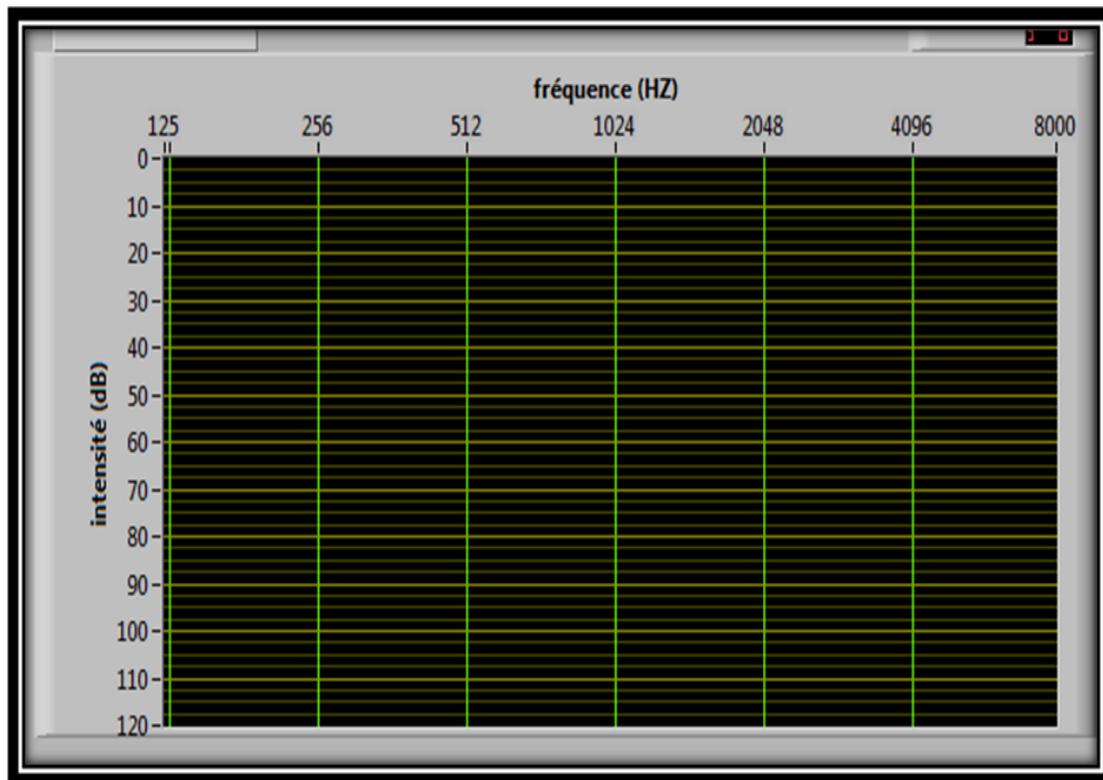
#### 4-3-Relier le programme :

Pour faire relier le programme, dans la fenêtre de CC studio, on a cliqué dans le menu 'Debug' sur 'Go Main' et ensuite dans le même menu 'Debug' on a cliqué sur 'Run'.

#### 5- Générations les son audible sous MATLAB :

Après la configuration de la carte TMS320C6713 DSK on peut générer les sons audibles avec des vibrations sur la carte on a fourni à l'entrée de la carte un signal sinusoïdal généré sur Matlab par la porte 'Lin In' et on a branché à la porte 'Head phone', un vibreur b-71 on a entendu un son et des vibrations constantes. La figure suivante montre le programme généré sur Matlab.





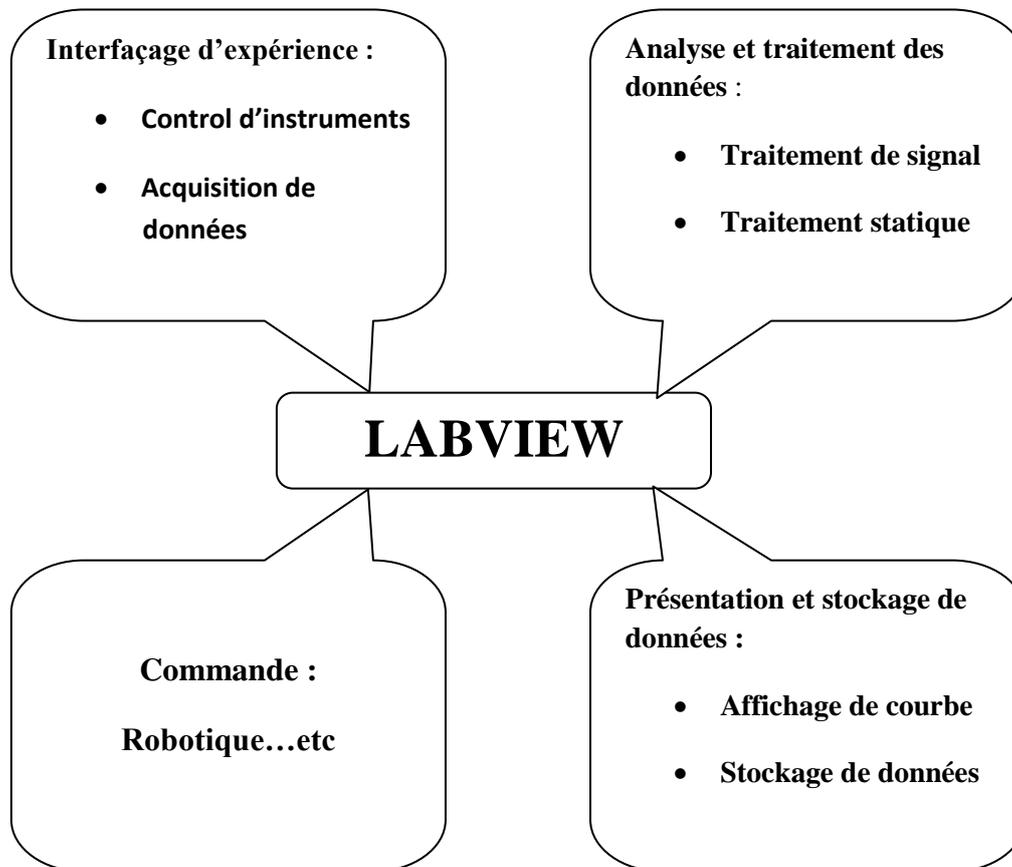
**Figure III-22: seuil d'intensité de fréquence pour une carte son standard a l'aide De charge casque (TDH39P) et vibreur B-71.**

Afin de pouvoir conçu ce projet plusieurs étapes ont été utilisées. Le logiciel doit assurer deux fonctions importantes, la première est la gestion et la sauvegarde des données du patient, les audiogrammes en plus de quelques données des opérateurs nécessaire a la gestion des tests. la deuxième concerne l'audiomètre lui-même il doit il doit gérer la carte son, pour pouvoir générer les sons. Pour cela il a fallut tout un programme (partie diagramme de LABVIEW).

### **III-1-Le logiciel de programmation graphique LABVIEW [20]:**

Utiliser une carte son du pc (standard) sans l'aide d'aucun système ou circuit externe, en utilisant le logiciel LABVIEW (**L**aboratory **V**irtual **I**nstrument **E**ngineering **W**orkbench), qui est un logiciel de conception de systèmes de mesure et de control basé sur l'environnement de développement graphique rependant, LABVIEW se distingue des autres logiciels sur au moins un point important.

En effet, la majorité d'entre eux utilisent le langage a base de texte dont la programmation consiste a empiler les lignes de code alors que LABVIEW utilise un langage de programmation graphique (le langage G) pour créer un programme sous forme de diagramme.

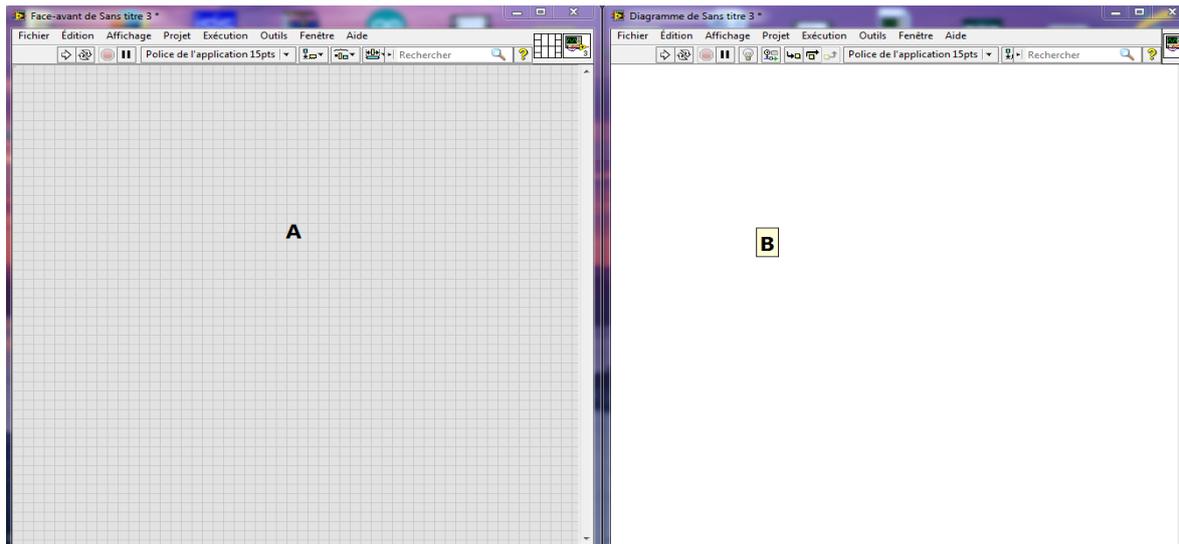


**Figure III-23 : les différentes fonctions de LABVIEW**

LABVIEW offre des bibliothèques entières de fonctions et de routines répondantes a la plupart des besoins de programmation. Pour les systèmes d'exploitation, LABVIEW contient également des bibliothèques de fonctions spécifiques à l'acquisition de données provenant des instruments connectés sur une simple liaison série.

### **III-1-1-Les instruments virtuels :**

Les programmes LABVIEW s'appellent des instruments virtuels (VI). Ces instruments virtuels ont deux parties principales : la face avant (front panel), le Diagramme (block Diagramme) :

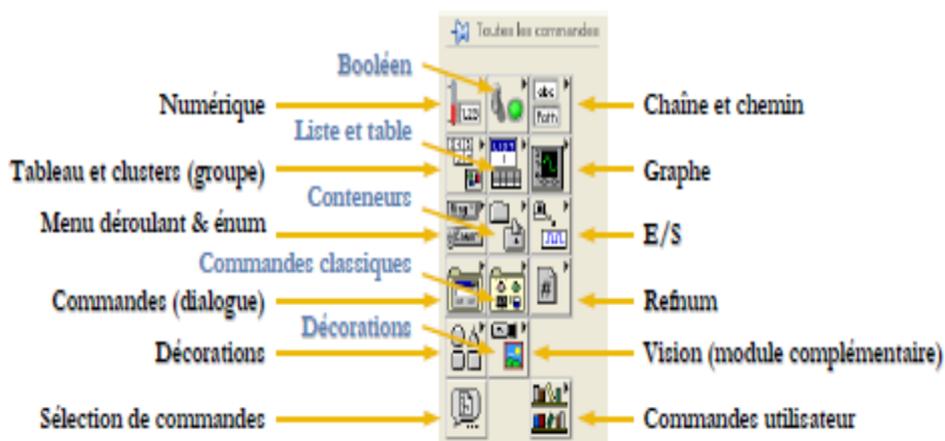


**Figure III-24: Les deux fenêtres principales de LABVIEW :(A) Face avant, (B) Diagramme.**

- **La face avant :**

La face –avant est l’interface utilisateur de VI. Elle est construite à l’aide de commandes et d’indicateurs, qui sont respectivement les terminaux d’entrées et de sorties interactifs du VI. Les commandes sont des boutons rotatifs, des boutons –poussoirs, des cadrans et autres périphériques d’entrée .Les indicateurs sont des graphes, des LED et autres afficheurs. Les commande simulent les périphériques d’entrée d’instruments et fournissent les données au diagramme du VI. Les indicateur simulent les périphériques de sortie d’instruments et affiche les données que le diagramme acquis ou génère.

Les différents indicateurs, et outils de décoration de la face avant sont arrangés dans une palette appelée **palette de commande**.

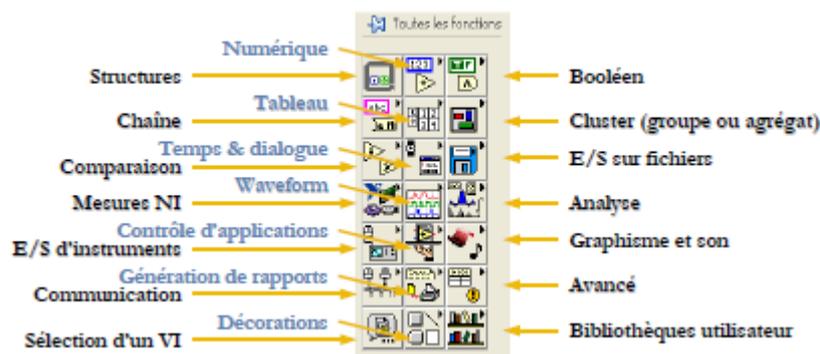


**Figure III-25: Palette de commande (face avant)**

• **Le diagramme :**

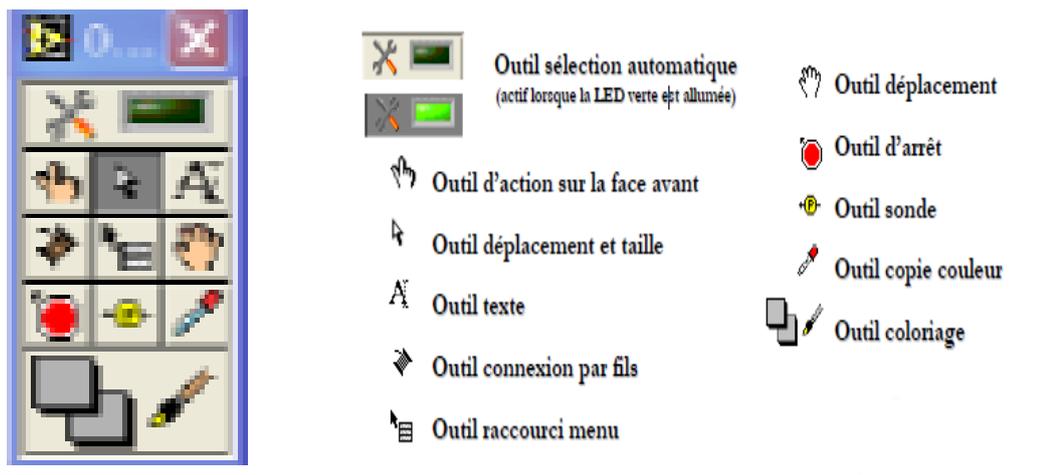
Après avoir construit la face –avant, le code doit être ajouté en utilisant les représentations graphique des fonctions pour contrôler les objets de la face avant .Le diagramme contient ce code source graphique .Les objets de la face avant apparaissent comme des terminaux sur le diagramme .On ne peut pas supprimer un terminal du diagramme .le terminale disparaît uniquement après que son objet correspondants dans la face –avant a été supprimé.

Les objets du diagramme (portes logique outils d’arithmétique, les différentes boucles ....) sont arrangés dans une palette appelée **palette de fonction**.



**Figure III-26: palette fonctions**

Il existe une troisième palette qui peut être utilisée par les deux faces, c’est la palette d’outils.



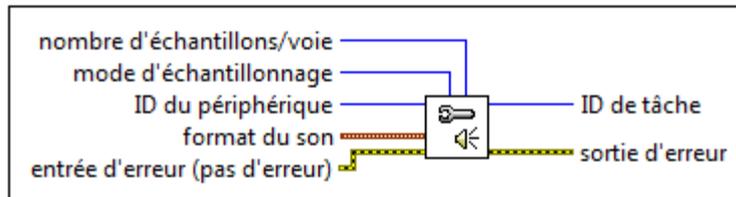
**Figure III-27: palette d’outils**

### III-2- Description de notre interface :

Toutes les fonctions que nous avons citées vont être placées dans la face diagramme de LABVIEW.

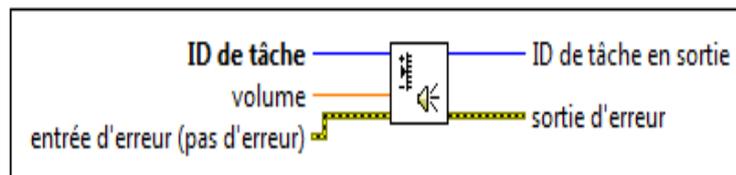
- **Les commandes principales :**

**1- Configuration une sortie de son [Sound Output Configure] :** cette fonction nous permet de configurer un périphérique de son pour qu'il génère des données.



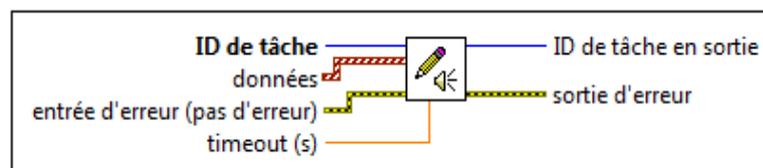
**Figure III-28: Configuration une sortie de son**

**2- Configuration le volume de sortie de son [Sound Output Set Volume] :** cette fonction nous permettons de régler le volume d'émission de son du périphérique.



**Figure III-29: Configuration le volume du son**

**3. Ecrire une sortie de son [Sound Output Write ] :** Cette fonction nous permettons d'écrire des données dans un périphérique de sortie de son.



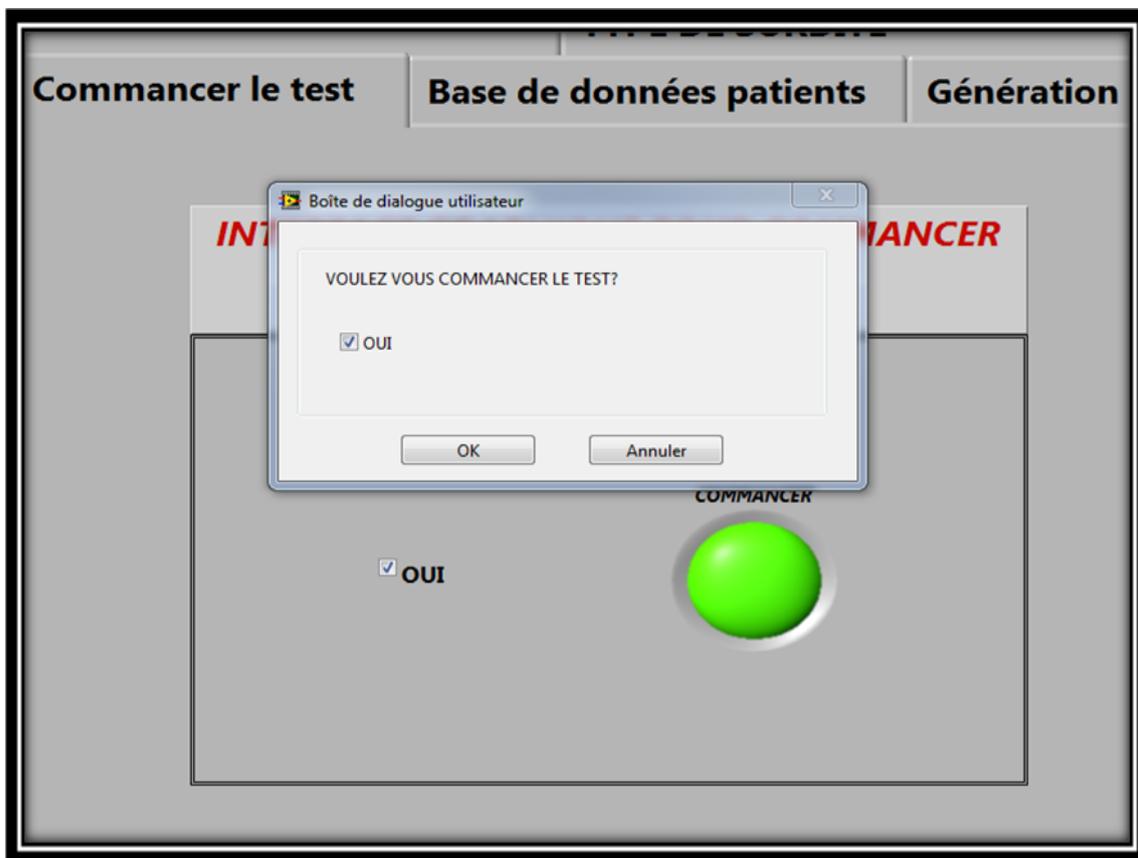
**Figure III-30 : Ecrire une sortie de son**

**III-2-1 : Organisation et déroulement du programme sous LABVIEW :**

Dans une commande (anglet) on a rassemblé toutes interfaces graphiques, afin d'organiser et séparer chaque fenêtre. L'organisation de ce programme a été faite de telle sorte qu'il soit exécutable et claire, en commençant par la gestion des données du patient jusqu'à la visualisation des résultats sur le graphe (Audiogramme).

Pour cela l'organisation est répartie comme suit :

**Première idée :** on a pensé de faire afficher un message et un indicateur (LED) a chaque exécution du VI en choisissant si on commence ou on annule le test que démontre la figure suivante :



**Figure III- 31: La fenêtre pour commencer le test (face avant)**

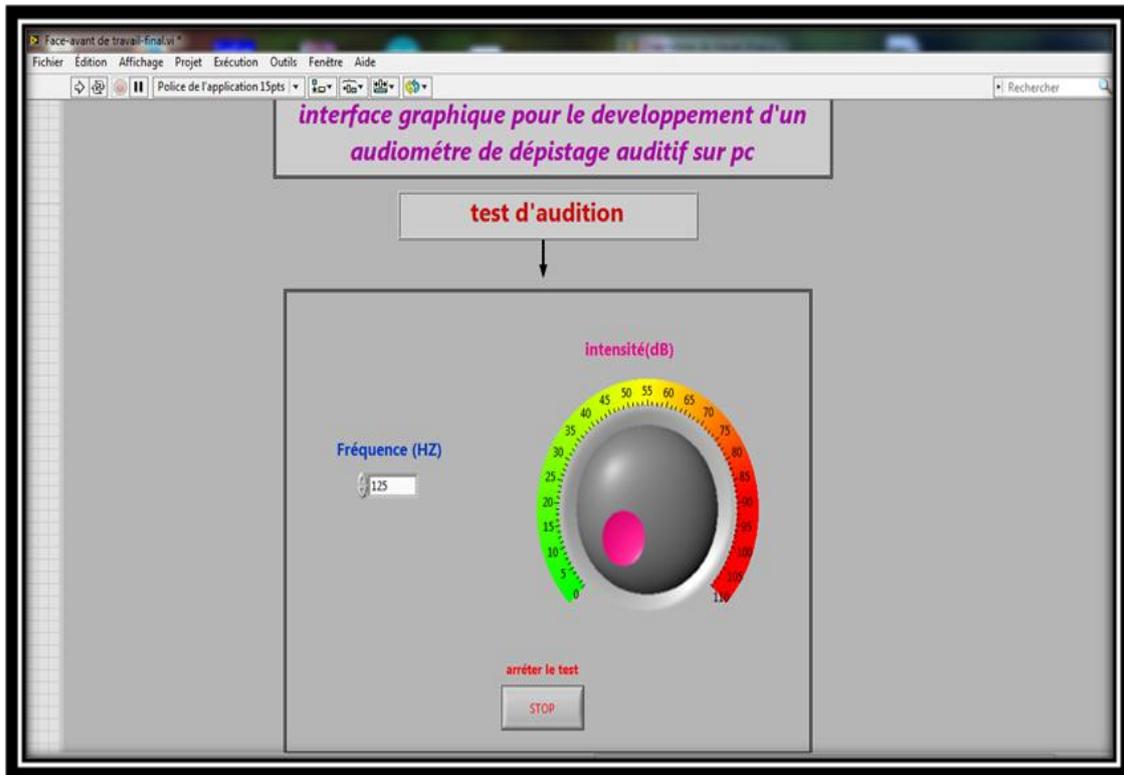
**L'idée suivante :** est la conception pour remplissage des bases de données du patient, c'est la première fonction que le logiciel doit comporter, pour qu'on puisse identifier chaque patient.les indicateurs seront afficher et sauvegarder sur la face audiogramme.

The image shows a software interface for patient data management. At the top, a pink box contains the title "gestion des données du patient". Below this, a large rectangular frame contains several input fields. On the left side, there are four fields labeled "Date", "Nom", "prénom", and "Age". On the right side, there are two fields labeled "Date de naissance" and "Adresse". At the bottom center of the frame, there is a pink button labeled "AJOUTER".

**Figure III -32: base de données du patient**

D'autre part, On a réaliser un programme pour la génération des sons en variant les fréquences et les intensités à l'aide des commandes sous LABVIEW.les commandent de bases sont la configuration des de la sortie de son (figure III-28), la lecture du son (figure III-29), écriture du son (figure III-30).on a créer un bouton rotatif pour les intensités (volume) et une commande numérique pour les fréquences, un bouton stop pour arrêter l'exécution tout sa dans une boucle WHILE pour qu'on puisse gérer le programme.

Dans ce programme, avant de commencer le test on fixe une certaine fréquence parmi celle qu'on a citée, et on fait varier l'intensité d'une façon descendante jusqu'à ce que le patient n'entende plus (seuil maximal).



**Figure III-33: Génération du son (face avant)**

Et à l'aide d'un bouton (réponse du patient) sur lequel le médecin va cliquer sur le clavier (on a choisie le bouton **entrée**), après avoir vue la reaction du patient (un geste avec la tête, ou la main) il déduire a qu'el seuil ce dernier a entendu pour chaque fréquence a la sortie d'un casque TDH39P (spécialisé) pour la conduction aérienne.

Après avoir générer le son, on a fait en sorte que le signal en sortie soit filtrer pour éviter les risque des bruits (filtre passe-bande). La face diagramme suivante démontre le programme complet.

- **Diagramme 1** : génération des sons, la transformer de fourrier, filtre passe-bande.
- **Diagramme 2** : Affichage des messages.
- **Diagramme 3** : Audiogramme.

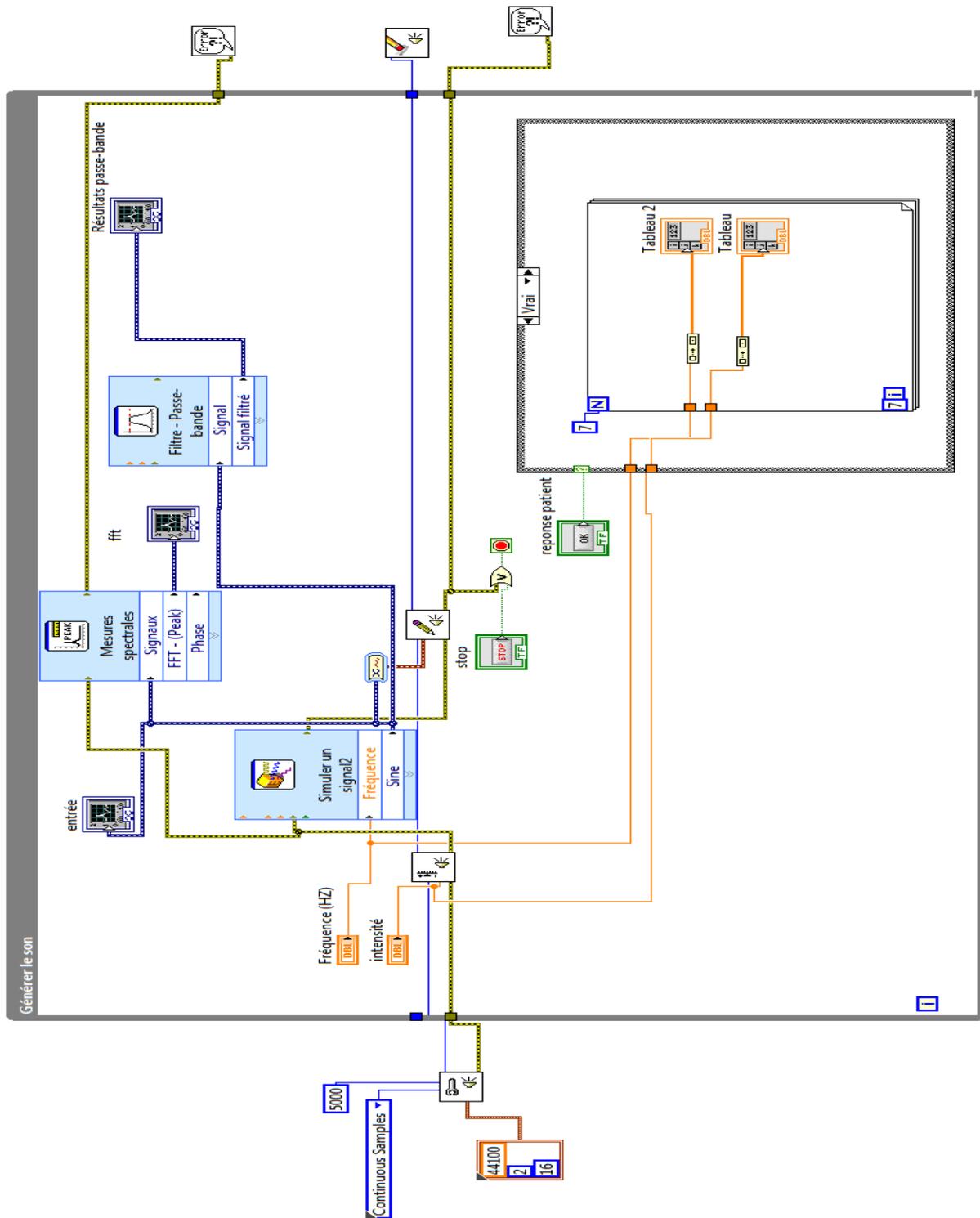


Figure III-34: Diagramme1 de génération du son (fréquences et intensités)

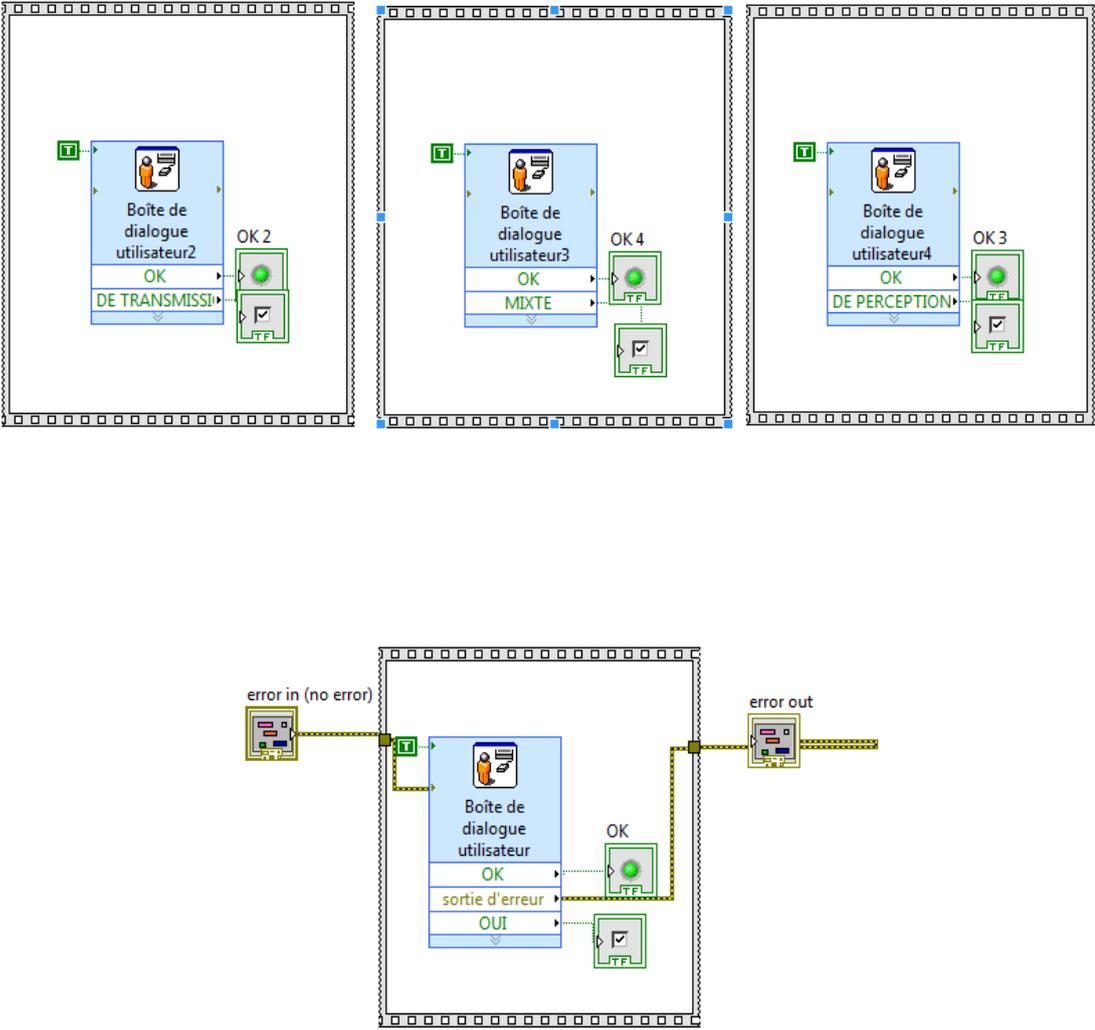


Figure III-35: Diagramme 2 Affichage des messages

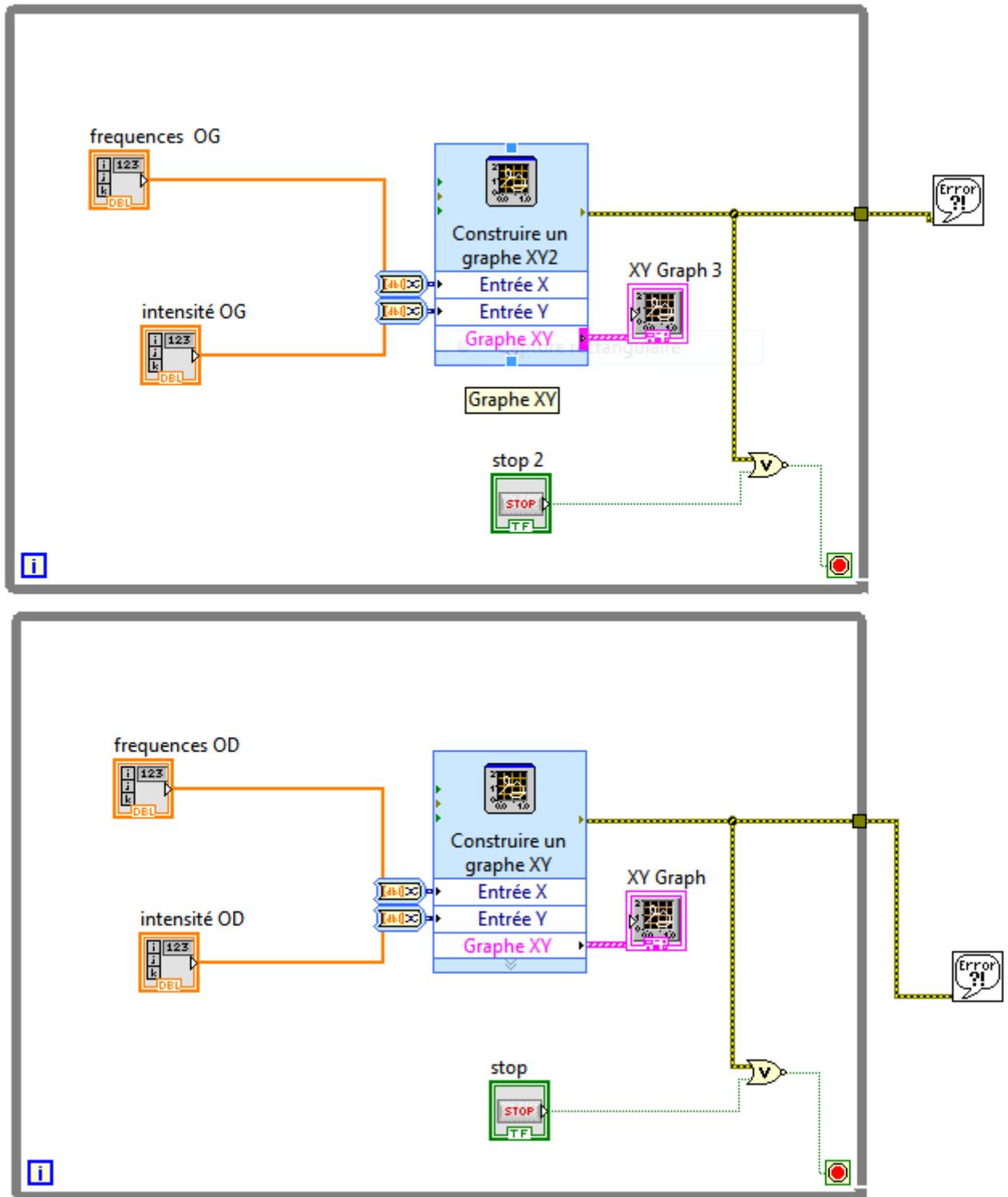


Figure III-36: Diagramme 3 tracé des résultats sur l'audiogramme

A chaque fin du test on va enregistrer les données dans des tableaux pour chaque oreille et on obtient des résultats dans un tracé la fréquence en fonction de l'intensité qui est l'audiogramme (face avant).

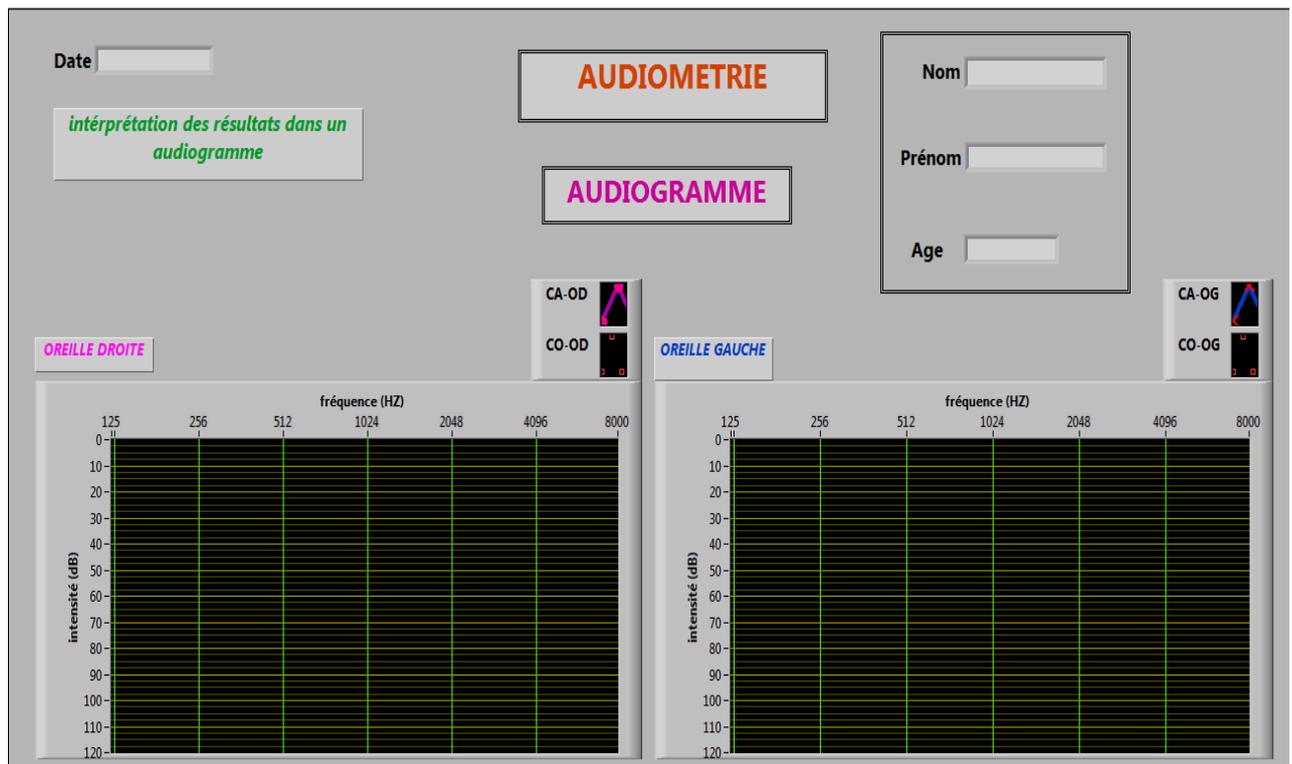
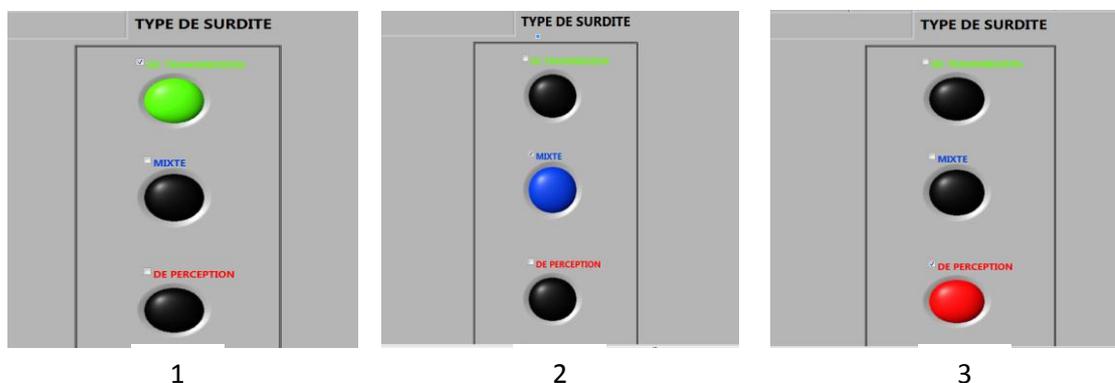


Figure III-37: Interface d'Audiogramme (face avant)

**Enfin**, faire un diagnostic médical pour ce tracé, afin de déduire l'acuité auditive du patient et interpréter les résultats (**le type de la maladie ou surdité**). Pour cela on a pensé à ajouter des indicateurs (**LED**) de différentes couleurs, si on coche le type de la maladie y'a une **LED** qui s'allume pour les trois types de surdités.

- 1- Surdité de transmission
- 2- Surdité mixte
- 2- Surdité de perception



Le médecin a le choix :

- Soit de sauvegarder et garder les résultats dans un fichier.

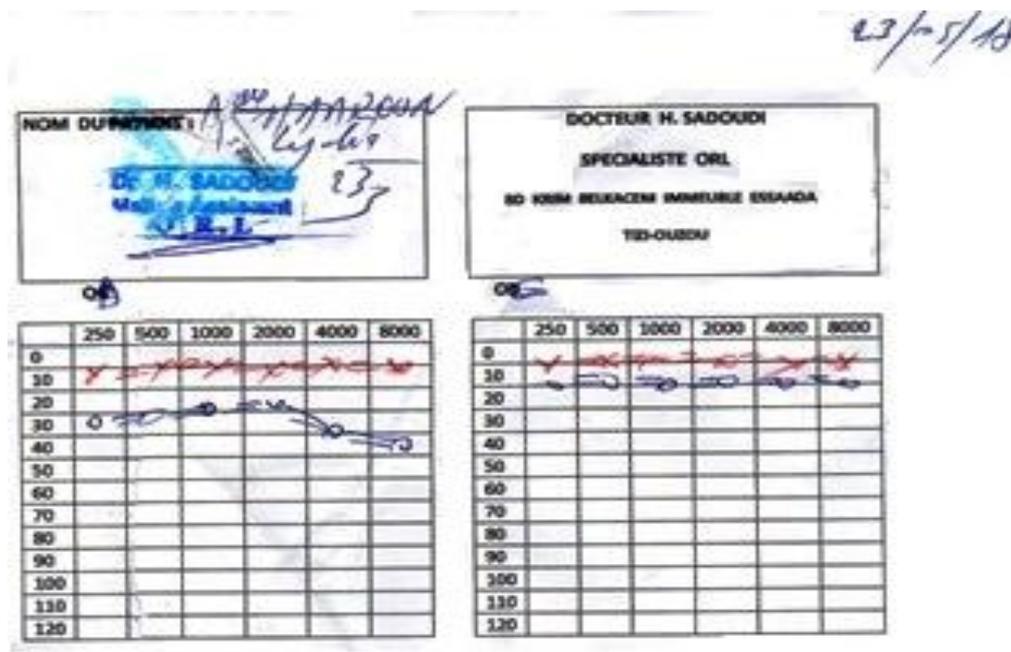
- Ou imprimer les résultats pour les remettre au patient.

**IV-Résultat :**

Après avoir réalisé notre interface, on a procédé de faire un teste pour le dépistage de la déficience auditive et visualisation des résultats obtenus au niveau d'un cabinet médicale avec le spécialiste en O.R.L Ancien Maitre Assistant « **Docteur SADOUDI HOCINE** » Pour faire une comparaison entre les résultats obtenus avec un audiomètre classique et un audiomètre virtuel, afin de tester la fiabilité et la réalisabilité de notre projet.

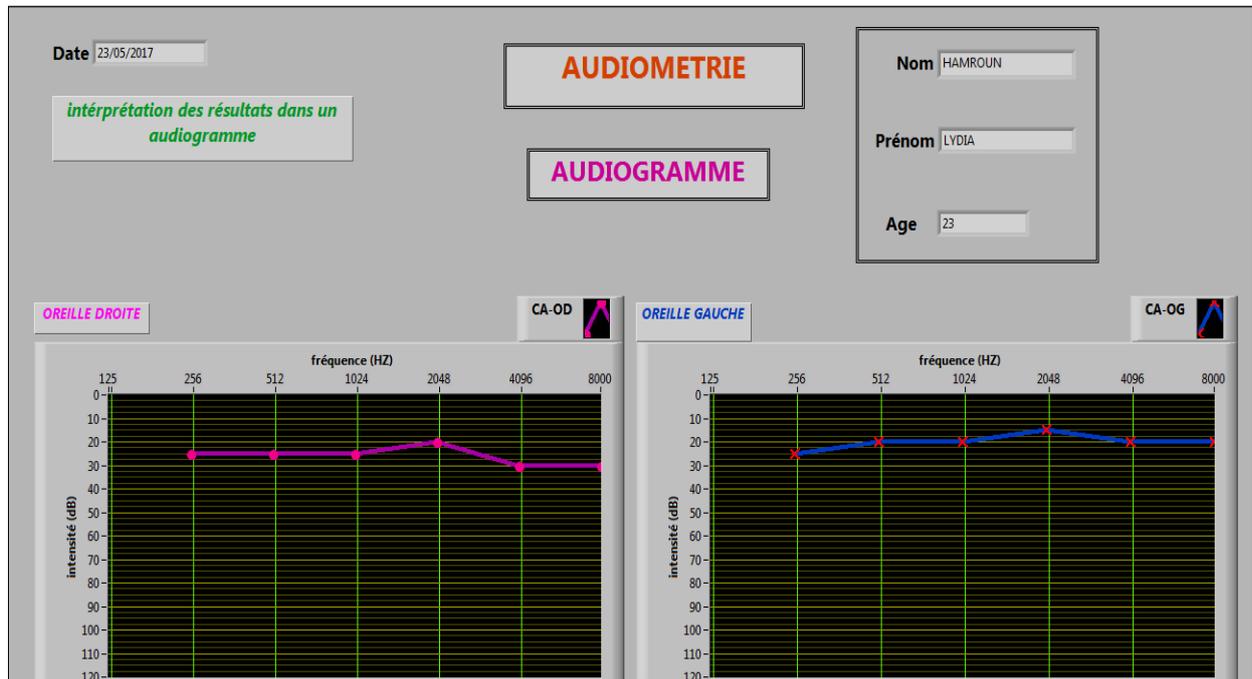
On a fait le test pour la conduction arienne avec la carte du son standard (sans aucun périphérique externe) sous LABVIEW et pour la conduction osseuse avec une carte du son externe (TMS320C6713DSK) sous MATLAB 2007 a et un autre test avec un audiomètre classique. On a obtenue les résultats suivants :

- **Résultat d'un test d'audimétrie classique :**



**Figure III -38: test d'audiométrie classique (AC50)**

- Résultat d'un test d'audiométrie virtuel (conduction aérienne):



**Figure III-39: test d'audiométrie virtuel avec TDH39P**

On remarque que les résultats sont identiques, les différences sont dues aux bruits de la cabine médicale durant le test avec l'audiomètre classique le médecin a pris en considération les 20 dB de la salle, si on entend à 25 dB il le prend pour 5 dB.

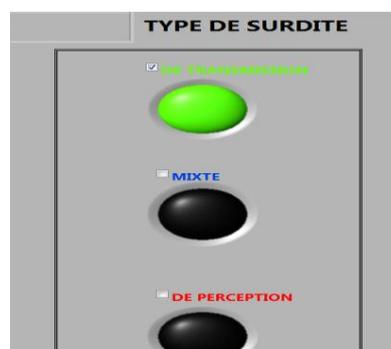
C'est pour cela qu'on remarque la légère différence entre les deux tests.

Par exemple pour les fréquences 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz pour l'oreille GAUCHE avec l'audiomètre virtuel, on remarque que le seuil d'audition de la patiente est 25 dB.

Comparé à l'audiomètre classique le seuil est à 5 dB, il a pris la pression acoustique de la salle qui est à 20 dB.

Avec plusieurs tests les résultats changent, car l'oreille est très sensible aux sons.

Et d'après le diagnostic du médecin la patiente a une surdité de transmission.



**Figure III -40: surdité de transmission**

- Résultat d'un test d'audiométrie classique pour le même patient :

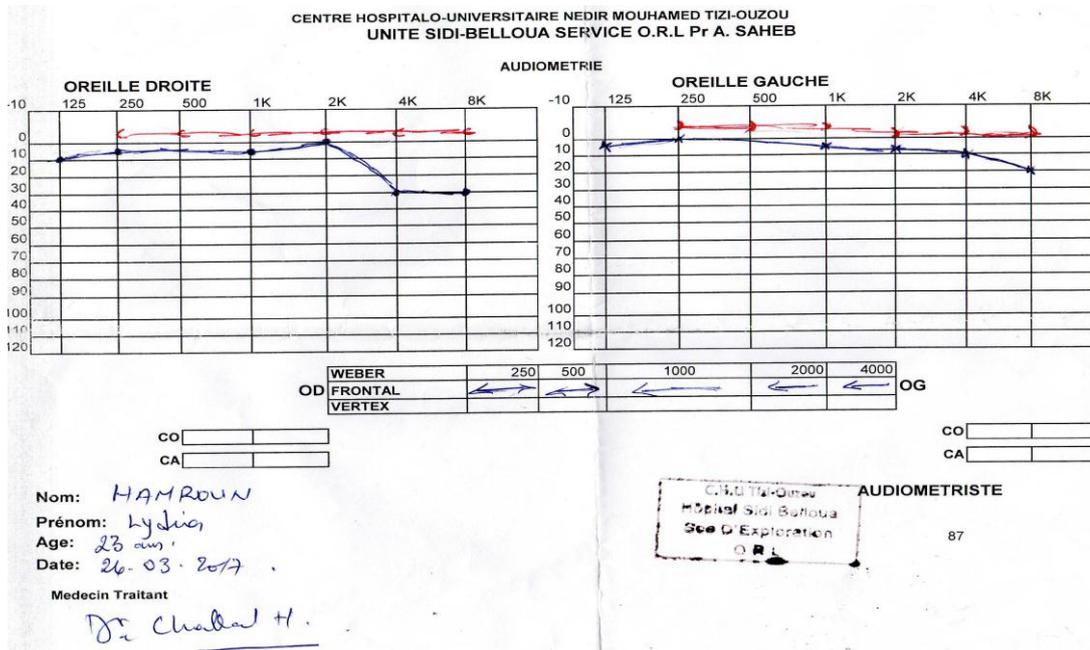
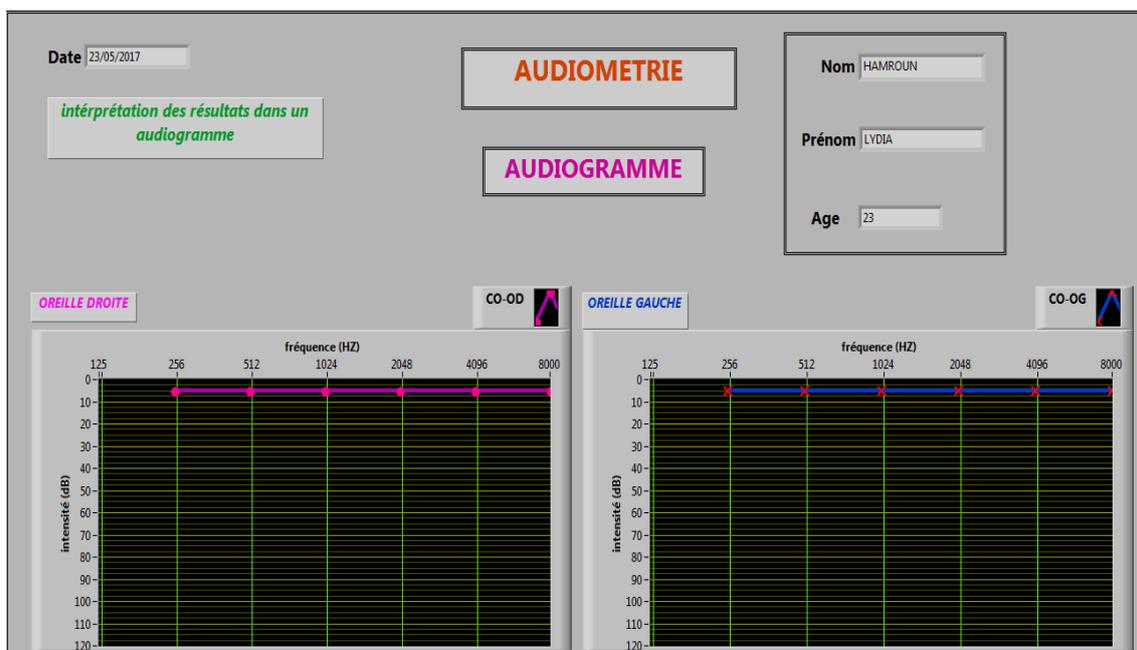


Figure III-41: test d'audiométrie classique (AC50) au niveau d CHU-BALOUA

- Résultat de la conduction osseuse :



Figures III-42 : test de conduction osseuse avec la carte TMS320C6713DSK et le vibreur B-71

On remarque que pour la conduction osseuse, il ya aucun problème au niveau de l'oreille, et les résultats sont identiques avec l'audiomètre classique et virtuel. Le Dr SADOUDI.H nous a remis une attestation de comportement de notre système avec le système d'audiométrie utilisé par les O.R.L.

**Docteur SADOUDI Hocine**  
SPÉCIALISTE O.R.L  
Ancien Maître Assistant

Tizi-Ouzou le :

26/05/17

Maladies et Chirurgie  
Nez- Gorge- Oreilles- Cervico Faciale  
Audiométrie

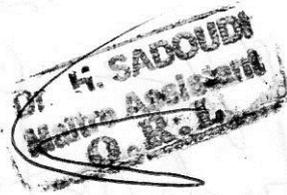
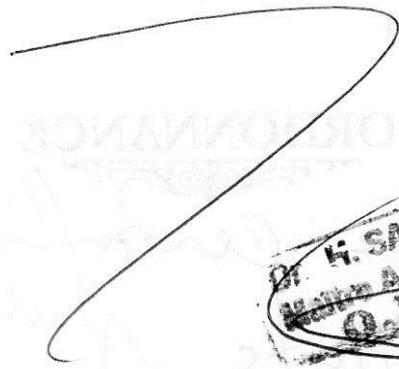
Inscrit a l'ordre des Médecins  
sous le N° 98 / TZO

Rue LAMALI Ahmed  
40 Logts Bt B Cage D N° 4  
TIZI OUZOU  
Tél : 026.12.28.03

## ORDONNANCE

Je soussigné certifie que  
les étudiants <sup>elle HARKOURT</sup>  
Lydia et <sup>elle CHAFA</sup>  
Fatima ont réalisé leur  
travail dans mon cabinet  
du 04/04/17 au 23/05/17.  
des résultats obtenus avec  
leur audiomètre sur PC  
(conduction aérienne et conduction  
osseuse) sont parables

Ceux obtenus par  
l'audiométrie classique  
en cabinet.



### **Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté l'application qui a été réalisé a base de la carte son TMS320C6713DSK et ces caractéristiques pour la conduction osseuse, dont on site le DSP « Digital Signal Processeur », qui est un microprocesseur optimisé pour exécuter les applications de traitement de signal (filtrage, extraction de signaux, etc..) le plus rapidement possible. Et le logiciel LABVIEW pour la conduction aérienne, on a fait la description de ce dernier ainsi que ces paramètres d'optimisation et de développement d'instruments virtuel.

En cour de la réalisation de ce projet On constate que cette méthode est parfaite car les résultats obtenus sont raisonnable. L'audiomètre virtuel est une aide pour les gens qui souffrent des maladies auditives ainsi que pour les médecins car il a plus d'avantage que l'audiomètre classique il est :

- riche.
- Plus facile à utiliser.
- Beaucoup moins couteux.
- Portable.

Ce projet nous a permis de découvrir et d'apprendre beaucoup de choses.

# Conclusion générale

### **Conclusion général :**

L'examen audiométrique est le plus important test d'exploration de l'audition humaine, il est réalisé à l'aide d'un appareil nommé Audiomètre qui permet d'évaluer la déficience de l'acuité auditive chez un patient par voie aérienne et osseuse. Comme tout appareil électronique, l'audiomètre a une durée de vie et nécessite une maintenance et un calibrage périodique. Tous ces points, en plus du prix d'acquisition qui est relativement élevé, font de l'audiomètre un appareil coûteux.

L'objectif principal de ce présent travail est de proposer une solution à ces inconvénients en développant un audiomètre virtuel sur microordinateur PC à l'aide d'un logiciel de développement graphique LABVIEW, simple à utiliser et indépendant des circuits électroniques externes, ce travail nous a permis de découvrir et apprendre à utiliser pour une première fois un nouveau logiciel très intéressant, et nous a permis d'apprendre à utiliser une carte de son externe très puissante (TMS320C6713DSK).

L'audiomètre virtuel nécessite d'être installé sur un ordinateur munie d'un écran, d'une carte son et une imprimante afin de pouvoir effectuer les tests et visualiser les résultats. Il permet de réaliser les tests à travers une interface agréable. Il permet aussi d'archiver et de visualiser les audiogrammes, les rapports des médecins, les données des patients et d'opérateurs, tout en assurant les fonctionnalités d'un audiomètre classique.

Le système développé est fonctionnel. L'évaluation médicale de l'audiomètre virtuel a été validée par un médecin spécialiste. Les objectifs essentiels de ce travail, résident surtout dans l'aspect économique, à savoir la réduction du prix d'achat de cet appareil. Les applications sont nombreuses, nous pouvons citer :

- le dépistage scolaire.
- le dépistage en milieu du travail.
- l'aide à l'enseignement.

# Bibliographie

## Bibliographie

---

### Liste des ouvrages :

[1] : item 87 (ex item 254) : Altération de fonction auditive-inclus « Item 44 : Dépistage des troubles auditifs chez l'enfant », Collège français d'ORL et de chirurgie cervico-faciale.

[2] : T.FLLON « traitement numérique de signal acoustique pour une aide aux malentendants. », Thèse de doctorat en électronique, Ecole doctorales d'informatique, télécommunications et électronique de paris, 2004.

[7] : H.ELISE la perte en pente inverse mémoire pour l'obtention du diplôme d'état d'audioprothésiste, université Henri Finckel, Nancy I faculté de pharmacie, 2012.

[11] : L'audiométrie clinique avec ATLAS Audiométrie MICHEL PORTMANN.et, CLANDINE PORTMANN.

[14] : « Exploration de l'Audition » Antonia Pérez-Martin, Iris Schuster, Michel DAUZAT Faculté de Médecine Montpellier-Nîmes en partenariat avec les Editions SAURAMPS Médical – Montpellier, Novembre 2006.

[17] : « Réalisation d'une interface graphique et sur une DSP en utilisant TMS320C6713 DSK » Réalisé par : Mlle. KHOUCHI DJAZIA et M. GELFAT HAMZA à Université DJILALI BOUNAAMA KHEMIS MILIANA.

[18] : « implémentation sur DSP d'un filtre numérique passe-bas » par ADIL MAKHOUKH ,14 juin 2013.

[19] : Apprendre maîtriser LABVIEW par ces applications, NADIA MARTAJD, MOHAND MOKHTARI, springer Heidelberg New York Dordrecht London.

[20]: Rice ET coll en 1992.

### Site internet :

[3] : [www.cochlea.eu/oreille](http://www.cochlea.eu/oreille) généralités/oreille interne.

[4] [html//fonctionnement /e-la-cochlée- dans l'oreille –interne –renfermant –les-cellules ciliées.](http://www.cochlea.eu/exploration.fonctionnelle/methode-subjective)

[5] : <http://jaouen.famille.freq.fr1> TPE, partie2.

[6] : [http://audition .Fee.Fr/](http://audition.fee.fr/).

[8] : [html// Dalberg MUDRY/mémoire /L'audiomètre d'otologie, 2009.](http://www.cochlea.eu/exploration.fonctionnelle/methode-subjective)

[9] : [http://anso.pagesperso-organe. Fr/page le son signal physique.](http://anso.pagesperso-organe.Fr/page%20le%20son%20signal%20physique)

[10] : [http://lobe.ca/tag/audiologistes-2.](http://lobe.ca/tag/audiologistes-2)

[12] : [http : //www.cochlea.eu/exploration.fonctionnelle /méthode-subjective.](http://www.cochlea.eu/exploration.fonctionnelle/methode-subjective)

[13] : [http : //www.memoire\L'audiométrie \\_ Otologie - Dr Albert Mudry.](http://www.memoire-laudiometrie-Otologie-Dr-Albert-Mudry)

[15] : [http://www.laflammeetassocies.com/quest-ce-quun-audiogramme.](http://www.laflammeetassocies.com/quest-ce-quun-audiogramme)

## Bibliographie

---