

Développement d'un Audiomètre sur PC pour le dépistage des pertes auditives

Wahiba.Benzaba
Centre de Développement
des Technologies Avancées
Baba Hacen Alger, Algérie
wbenzaba@CDTA.DZ

Ratiba.Boutaleb
Centre de Développement
des Technologies Avancées
Baba Hacen Alger, Algérie
rboutaleb@CDTA.DZ

Yacine. Boucetta
Centre de Développement
des Technologies Avancées
Baba Hacen Alger, Algérie
yboucetta@CDTA.DZ

Fayçal.Ykhlef
Centre de Développement
des Technologies Avancées
Baba Hacen Alger, Algérie
ykhlef@cdta.dz

Lotfi .Bendaouia
Centre de Développement
des Technologies Avancées
Baba Hacen Alger, Algérie
lbendaouia@CDTA.DZ

Hamid. Meraoubi
Centre de Développement
des Technologies Avancées
Baba Hacen Alger, Algérie
hmeraoubi@CDTA.DZ

Résumé—L'Audiomètre est un appareil employé par les spécialistes et services O.R.L des hôpitaux, pour la mesure de la déficience de l'acuité auditive chez un patient. 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 des audiomètres classiques. Il est basé sur l'utilisation des périphériques internes du PC (carte son) sans l'utilisation des cartes ou systèmes externes. Il produit de manière fidèle des sons de stimulations (sons purs et bruits de masquage à fréquences et intensités ajustables) utilisés pour la mesure de la conduction aérienne et la conduction osseuse de l'audition d'un patient. Il est doté d'un module de calibrage qui permet le réglage des puissances de sorties des cartes sons afin qu'elles puissent reproduire des sons conformes à la norme médicale d'audition. Trois solutions conceptuelles de génération des sons ont été proposées au niveau de ce travail. Ce logiciel permet de tracer, sauvegarder et imprimer les audiogrammes et les rapports des médecins obtenus à la suite des tests audiométriques. Il permet aussi la gestion des données des patients et des opérateurs à travers une interface ergonomique conviviale et simple à utiliser. L'évaluation du logiciel a été faite par des tests pratiques d'auditions sur des normaux et malentendants au niveau du service ORL de l'hôpital Beni Messous. Les audiogrammes sont comparés avec ceux obtenus par des audiomètres classiques AC33 et AC50. Les résultats ont été assistés et évalués par des médecins spécialistes.

Mots-clés composant; *Fréquence, Intensité, audiomètre, audition, carte son, PC*

I. INTRODUCTION

L'électronique et l'informatique sont devenues des moyens d'aide d'une grande nécessité pour la médecine avec beaucoup d'efficacité(1),(2).

Dans le cadre de cette idée, nous avons pensé à réaliser un audiomètre virtuel sous environnement Windows avec Delphi et Microsoft de programmation inter base en se basant seulement sur la carte son du PC(2),(3). Le principe consiste à générer des sons audibles à des fréquences et intensités médicalement connues et de mesurer pour chaque son l'intensité minimale à partir de laquelle le patient perçoit ce son.

II. DEFINITION

L'audiomètre est un appareil médical qui sert à mesurer l'acuité auditive afin de déterminer le degré de déficience(4). Il est essentiellement utilisé par les spécialistes et services spécialisés en O.R.L des hôpitaux. Il émet des sons d'intensités et de fréquences connues et variables. Il permet l'exploration de l'audition aérienne et de l'audition osseuse, dans le premier cas les écouteurs sont placés sur les oreilles tandis que dans le deuxième cas ils sont placés sur la mastoïde. Cet appareil permet d'établir une courbe d'audition appelé audiogramme qui peut être comparé à une courbe obtenue chez un sujet normal(5),(6).

III. CONCEPTION ACOUSTIQUE

Un audiomètre virtuel sur PC doit être capable de générer des sons purs et des bruits de masquage nécessaires pour la mesure de l'audition en conduction aérienne et osseuse

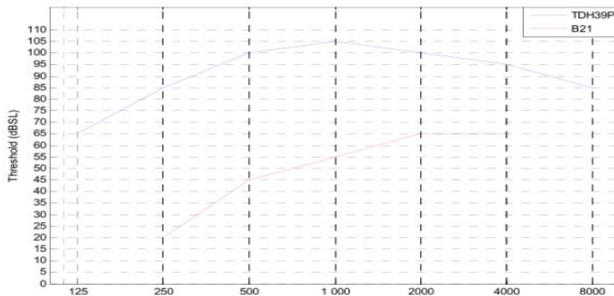


Figure 1: Seuils d'intensité des fréquences des sons pour une carte son standard à l'aide de charges TDH39P et B-71(7).

en utilisant seulement la carte son du PC, sans l'aide d'aucun système ou circuit externe. En plus il est conçu de façon à être calibré pour n'importe quel type de carte son.

L'idée de base est d'estimer la capacité maximale en puissance d'une simple carte son à produire des sons purs à des niveaux d'intensités acoustiques (SPLs) connus aux bornes des hauts parleurs spécialisés (écouteurs TDH39P pour la conduction aérienne ou Vibreur B71 pour la conduction osseuse) utilisés lors des tests audiométriques. Cette puissance estimée, qui est dépendante de la fréquence du test utilisée, va être employée pour la détermination des seuils des niveaux acoustiques de l'Audiomètre Virtuel.

La gamme de fréquences utilisées dépend aussi de la conduction choisie. On observe la suite de fréquences suivantes pour la génération des sons nécessaires pour la mesure de l'audition en conduction aérienne : 125, 250, 500, 1k, 2k, 4k et 8kHz. La suite: 250, 500, 1k, 2k et 4k Hz est de même utilisée pour la génération des sons dans le cas de la conduction osseuse (10).

Afin d'aboutir à une solution correcte pour le problème de ce projet, plusieurs expériences pratiques ont été réalisées.

A. La première idée

Pour reproduire le comportement d'un audiomètre classique, la première idée a été d'enregistrer tous les sons que génère celui-ci à l'aide d'un microphone de bonne qualité, et de restituer ces sons en utilisant un logiciel. Considérons l'audiomètre classique (AC50) équipé de la charge choisie (écouteur TDH39 ou vibreur B71) comme une boîte noire, où les entrées sont les fréquences que nous avons citées en haut ainsi que les intensités dont la gamme varie selon la conduction et la fréquence considérée. Dans le cas où les réponses sont identiques pour les deux systèmes (L'audiomètre Classique AC50 et l'Audiomètre Virtuel),

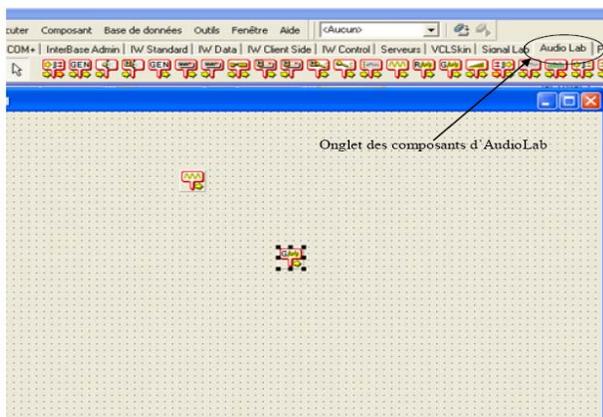


Figure 2: L'onglet AudioLab sur une interface de Delphi7



Figure 3: Fenêtre principale

nous pouvons dire que cette solution est techniquement correcte. Malheureusement, après les tests d'écoutes effectués, nous avons constaté que les niveaux d'intensités acoustiques des sons restitués ne correspondaient pas en puissance aux sons désirés. Ce problème est principalement dû à la distance entre le microphone et l'écouteur (Phénomène de Variabilité Acoustique). En plus de la difficulté d'enregistrement des sons de basses intensités à cause du bruit de fond et de la qualité du microphone.

B. La seconde idée

La seconde idée est d'utiliser le port de la ligne d'entrée de la carte son (Line in), en acquérant directement les signaux électriques aux bornes des charges utilisées (écouteurs TDH39P ou du vibreur B-71) afin de les sauvegarder directement et sans perte d'enregistrement. Malheureusement aussi, on a constaté que les niveaux d'intensités acoustiques des tonalités rejouées ne correspondaient pas à celles désirées, principalement en raison de la différence d'impédances entre les charges utilisées (écouteurs TDH39P ou vibreur B-71) et le port de la ligne d'entrée de la carte son qui cause des pertes d'acquisition.

C. La troisième idée

Le passage aux mesures acoustiques en utilisant un sonomètre (Sound Pressure Level meter) semble une bonne solution à la perte d'acquisition. L'opération consiste à dénoter les SPLs mesurés en dB SPL pour tous les sons du test, puis les régénérer automatiquement en utilisant le logiciel développé. Cette solution n'a pas marché car elle nécessite une chambre sourde pour les mesures acoustiques voulues. En plus de l'impossibilité de réalisation des mesures inférieures à 40dB SPL qui est due au bruit de fond du milieu considéré. Les SPLs mesurés ont été caractérisés de manque de précision, donc on ne peut pas compter sur ces derniers pour faire des tests audiométriques. Beaucoup d'essais ont été faits sans succès.

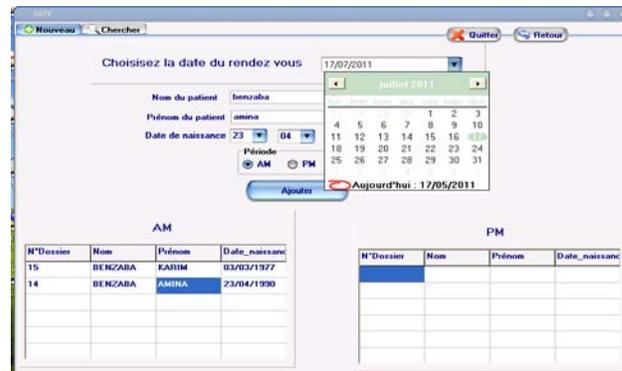


Figure 4: Fenêtre de gestion des rendez-vous

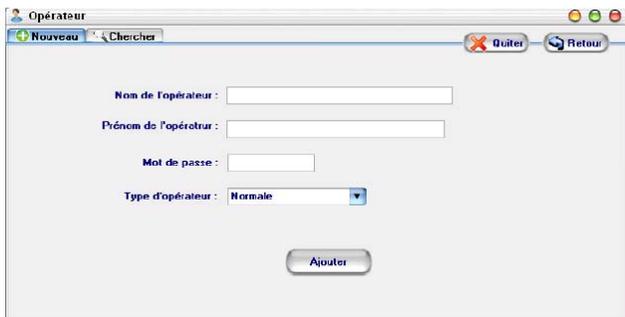


Figure 5: Fenêtre de gestion des opérateurs

D. La quatrième idée

La dernière solution a été de faire des mesures des différences de potentiel (ddps) aux bornes des charges utilisées (casque TDH39P et du vibreur) afin d'obtenir la correspondance en volts des dB SPL voulus à l'aide d'un oscilloscope numérique.

Nous avons en premier mesuré les tensions de sortie pour chaque fréquence d'essai à travers les deux charges à l'aide de l'audiomètre classique calibré AC50.

Nous avons ensuite évalué le seuil maximal de la ddp de sortie de la carte son standard pour chaque fréquence en utilisant les écouteurs TDH39P et le vibreur B-71 qui vont être utilisés comme des seuils nominatifs. Les charges utilisées sont généralement complexes mais elles présentent une certaine réponse en fréquence incluse dans la gamme audible.

Les intensités s'étendent du 0 dB (ou moins) aux seuils des SPLs. Les seuils d'intensité de fréquences des sons d'une carte standard à l'aide de charges TDH39P et B-71, sont représentés sur la Figure 1. La même expérience est faite pour obtenir les seuils des SPLs du bruit blanc utilisé comme signal de masquage (7).

Il est possible de reproduire les SPLs d'une fréquence considérée, en produisant la tension nécessaire, qui peut être estimée à partir de la valeur seuil du SPL de la fréquence voulue.

Les signaux de test (sons purs et sons de masquages) sont synthétisés à une fréquence d'échantillonnage de 44.1 kHz et joués avec des sons de sortie sur 24bits (9).

L'audiomètre conçu présente les caractéristiques suivantes :

- sons purs (une seule fréquence entendue à la fois)
- gamme de fréquences : Conduction aérienne: 125, 250, 500, 1k, 2k, 4k and 8k Hz;

Conduction osseuse: 250, 500, 1k, 2k and 4k Hz;

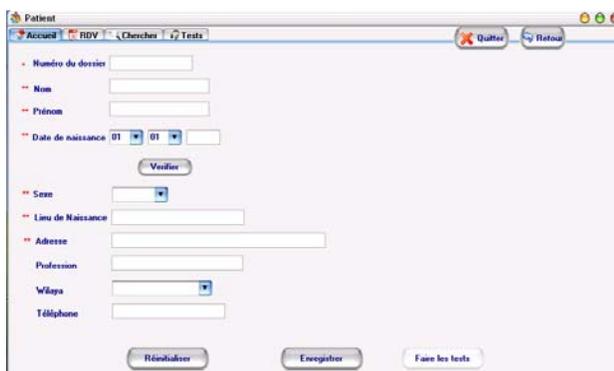


Figure 6: Fenêtre de gestion des Patients.



Figure7: Onglet de recherche des tests audiométriques.

- gamme d'intensité pour la CA et CO variant pour chaque fréquence à partir de 0 dB aux seuils des SPLs donnés par la Fig. 1;
- l'atténuation (ou augmentation) est de 5 dB;
- bruit blanc de masquage de 0 to 105 dB;

IV. REALISATION

Notre logiciel doit assurer deux fonctions importantes, la première est la sauvegarde et la gestion des données des patients, les audiogrammes en plus de quelques données des opérateurs nécessaires à la gestion des tests. La deuxième fonction concerne le cœur de l'audiomètre lui-même ; il doit gérer la carte son du PC afin de produire les sons de test. Pour la production et manipulation des sons, nous avons exploité la VCL (Visual Component Library) Audiolab que nous avons installé sur Delphi7 (Figure 2).

Cette VCL offre des composants qui permettent de produire des sons purs de fréquences et intensités ajustables en plus d'un bruit gaussien pour le masquage, elle offre la possibilité aussi de manipuler les différents paramètres du son. Nous avons développé une application à l'aide des outils que nous venons de présenter mais vue les contraintes rencontrées vers la fin de cette étape et que nous expliquerons au cours, nous étions amenés à réaliser deux autres applications comme solutions à ces contraintes.

Les applications considérées diffèrent dans l'approche de manipulation des sons. Le mode d'utilisation et interfaces de ces applications restent les mêmes.

V. PRESENTATION DE L'INTERFACE

L'interface de notre logiciel est conviviale, intuitive et simple d'utilisation. Elle permet :

- la gestion des données du patient ;
- la gestion des rendez-vous ;

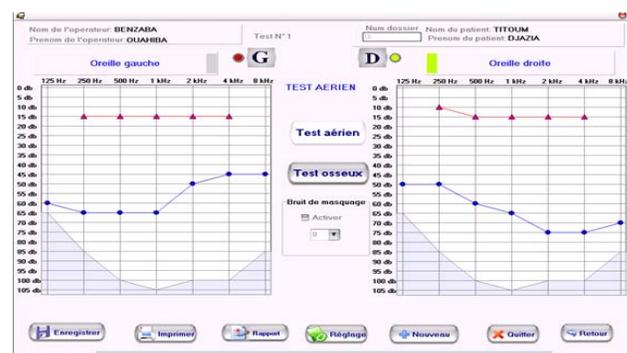


Figure 8: Fenêtre de tests audiométriques



Figure 9: Fenêtre de la liste des réglages

- la gestion des informations de l'opérateur ;
- la réalisation des tests audiométriques ;
- la gestion des audiogrammes ;
- la gestion des rapports ;
- la réalisation du calibrage et la gestion des réglages.

La fenêtre principale Fig.3 compte quatre boutons intitulés respectivement, RDV, Opérateur, Patient et Configuration.

A. La fenêtre de gestion des rendez-vous

Le bouton RDV permet d'accéder à la fenêtre de gestion des rendez-vous (Figure 4). Cette fenêtre compte deux onglets, le bouton intitulé Nouveau permet d'ajouter un rendez-vous pour un patient, le deuxième onglet Chercher permet de chercher un ou des rendez-vous. Sur cet onglet il est possible d'afficher une liste de rendez-vous en précisant un ou plusieurs critères de recherche.

B. La fenêtre de gestion des opérateurs

Sur la fenêtre de gestion des opérateurs (Figure 5) il existe deux onglets, l'onglet Nouveau permet d'ajouter un utilisateur tout en précisant, son nom, prénom, son type et son mot de passe ; l'onglet Chercher permet de chercher un ou plusieurs opérateurs selon différents critères de recherche.

C. La fenêtre de gestion des patients

Cette fenêtre compte quatre onglets, le premier onglet Accueil permet de Vérifier si un patient est déjà enregistré, soit en saisissant son numéro de dossier puis cliquer sur le bouton vérifier ou en saisissant le nom, le prénom et la date de naissance. Si le patient est déjà enregistré, ses données s'affichent sur les champs adéquats et un message s'affiche pour confirmer que le patient est enregistré et s'il possède un rendez-vous (Figure 6). Si c'est le cas le message indique aussi la date du rendez-vous.

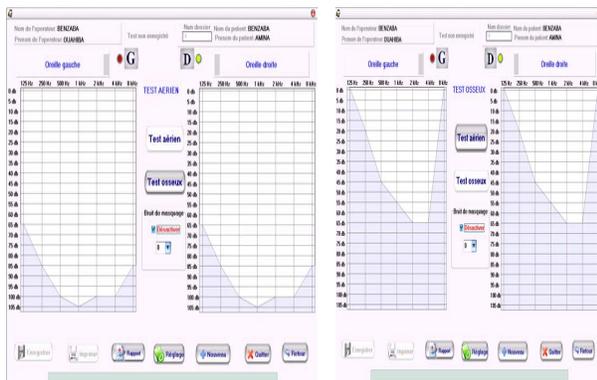


Figure 10: Fenêtres des tests audiométriques en voie aérienne et en voie osseuse.

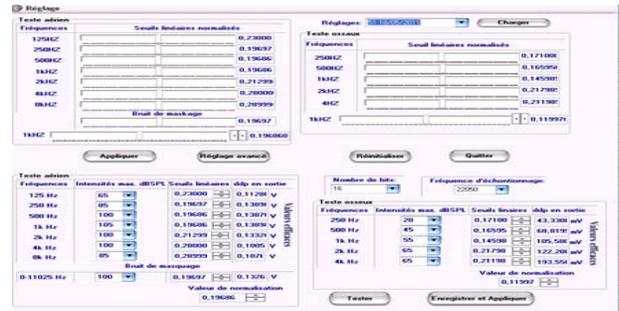


Figure 11: Fenêtre de réglage avancé

Si l'opérateur désire enregistrer un nouveau patient, il doit saisir les données du patient sur les champs de texte adéquats, les données précédées par '*' sont obligatoires, les autres sont optionnelles.

Le bouton Faire les tests permet d'afficher la fenêtre des tests audiométriques, pour effectuer les tests au patient choisi.

Il permet de rechercher un ou plusieurs patients selon un ou plusieurs critères de recherche..

Il est possible de supprimer un patient ou de modifier ses données en cliquant respectivement sur les boutons Supprimer et Modifier, le bouton Afficher permet d'afficher les données du patient sur l'onglet Accueil.

La Figure 7 représente l'onglet de recherche des tests audiométriques. Il permet de rechercher un ou plusieurs tests selon un ou plusieurs critères de recherche.

Il est possible de supprimer un test en cliquant sur le bouton Supprimer, le bouton Afficher permet de visualiser les courbes du test audiométrique sur la fenêtre des tests audiométriques (Figure 8).

La Figure 8 représente la fenêtre sur laquelle les opérateurs effectuent les tests audiométriques aux patients. Les boutons G et D permettent de changer le coté du test, D pour droit et G pour gauche. Les deux boutons Test aérien et Test osseux permettent de modifier la voie du test, voie aérienne ou osseuse. Le bouton à cocher Activer qui est dans le cadre intitulé Bruit de masquage permet d'activer le bruit de masquage et donne la possibilité de choisir l'intensité du bruit de masquage.

Cette fenêtre permet de sauvegarder, d'imprimer et de rédiger le rapport des tests après la réalisation de ces derniers. Elle permet aussi de faire un calibrage de la carte son à l'aide du bouton Réglage.

D. La fenêtre de la liste des réglages

La Figure 9 représente la fenêtre qui s'affiche en appuyant sur le bouton Configuration de la fenêtre principale (Figure 2). Une liste de numéro de réglages et leurs dates s'affichent. La colonne Réglage utilisé prend la valeur Oui si le réglage est utilisé, Non dans les cas contraires,

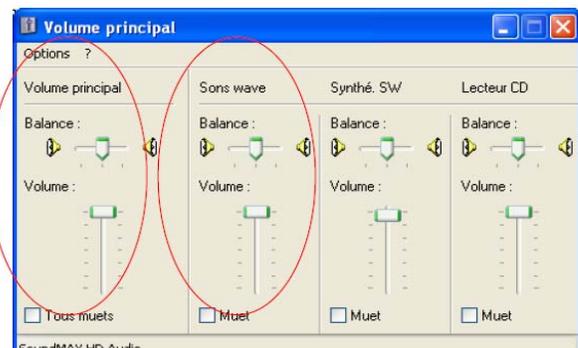


Figure 12: Mixeur des volumes de la carte son

TABLE I. TABLEAU DE COMPARAISON DES DDPS DE SORTIE EN VOLT DES TROIS APPLICATIONS ET DE L'AUDIOMETRE AC50 A L'AIDE DE LA CHARGE TDH39P (CONDUCTION AERIENNE).

	125Hz	250Hz	500Hz	1Hz	2Hz	4Hz	8Hz
105dB				0.14001 0.14052 0.14003 0.14044			
100dB			0.13881 0.13752 0.13733 0.13724	0.07951 0.07842 0.08283 0.07844	0.13321 0.13202 0.13443 0.13354		
95dB			0.08011 0.07662 0.08093 0.07654		0.07481 0.07372 0.07983 0.08634	0.10061 0.10302 0.10383 0.10094	
90dB						0.05611 0.05742 0.06133 0.05644	0.10771 0.10652 0.10433 0.1078
85dB		0.13901 0.13502 0.13513 0.1350					0.06191 0.05942 0.06193 0.06034
80dB		0.07951 0.07542 0.08003 0.07474					
75dB							
70dB							
65dB		0.11281 0.11192 0.11613 0.11284					
60dB		0.06461 0.06242 0.06503 0.06294					

il est possible de supprimer un réglage par le bouton Supprimer sauf si celui-ci est utilisé

VI. RESULTATS

Nous avons exploité pour la réalisation de notre logiciel la VCL AudioLab qui est un composant permettant de produire des sons purs de fréquences et d'intensités ajustables, en plus d'un bruit gaussien utilisé comme un son de masquage. Nous avons développé les différentes fonctionnalités nécessaires pour les tests audiométriques en conduction aérienne (Figure 10) et osseuse (Figure 11), en plus d'un module de calibrage qui permet d'ajuster les sons de la carte son du PC utilisé

Le bouton de réglage avancé présent sur la fenêtre de réglage, permet d'effectuer un réglage minutieux des paramètres de production des sons des tests audiométriques (Figure 12).

Nous avons dû adopter d'autres techniques pour produire des sons de tests audiométriques à cause des faiblesses constatées sur la VCL AudioLab.

Nous allons expliquer dans ce qui suit le principe et la façon de réalisation de chacune des solutions mises au point.

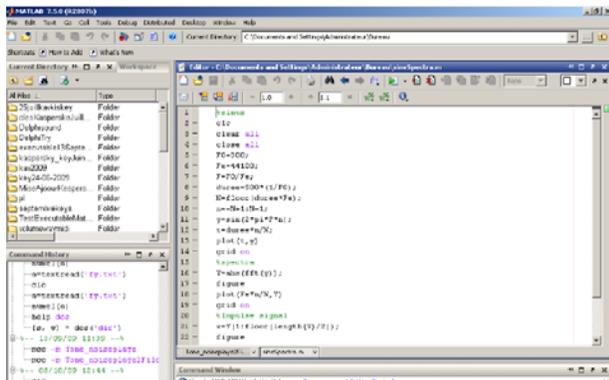


Figure 13: Fenêtre d'un programme sous Matlab.

TABLE II. TABLEAU DE COMPARAISON DES DDPS DE SORTIE EN mVOLT DES TROIS APPLICATIONS ET DE L'AUDIOMETRE AC50 A L'AIDE DE LA CHARGE B-71 (CONDUCTION OSSEUSE).

	125Hz	250Hz	500Hz	1Hz	2Hz	4Hz	8Hz
65dB					122.991 122.672 121.553 122.504	193.551 193.732 195.343 193.874	
60dB					71.621 68.462 68.123 68.554	113.851 108.562 109.343 108.484	
55dB					105.581 105.502 106.603 105.704		
50dB					60.631 58.7.2 59.503 58.574		
45dB			68.821 69.012 67.603 68.904				
40dB			39.431 39.522 38.673 39.444				
20dB		43.331 43.312 43.703 43.104					
15dB		25.021 24.272 24.923 24.594					

A. Application I (basé sur AudioLab)

Audiolab s'est présenté au début comme un outil idéal qui facilite notre travail, mais vers la fin du développement, nous avons constaté que sur les basses intensités (0 à 25dB) d'un son pur à une fréquence de 1kHz, notre application produit des intensités très faibles qui ne coïncident pas aux pressions acoustiques en dB SPLs comparables aux pressions réelles générées par un audiomètre classique. Ce qui est intolérable dans une application de ce genre.

On peut expliquer ce défaut par le fait que la gamme d'intensités que tolère cette VCL est limitée (32762 pas), et que les variations d'intensités se produisent à une échelle logarithmique, ce qui aboutit à une annulation des sons de basses intensités.

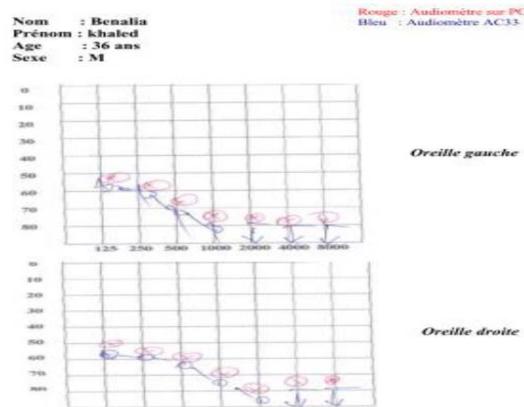


Figure 14: Audiogrammes Patient 1.

que celle d'AudiLab (65535 pas), ce qui remédie à notre problème.

Cette méthode consiste à exploiter le volume principal pour le calibrage et le volume Wave pour l'ajustement des intensités des sons.

C. Application III (à base de Matlab)

La deuxième solution était d'exploiter un exécutable Matlab qui doit générer les sons dont les paramètres sont transmis par notre interface Delphi, vu que Matlab est un outil très performant dans le domaine de traitement du signal (Figure 13). Matlab offre des outils faciles à exploiter pour la génération des sons et ne présente pas les inconvénients que nous venons de voir(8).

VII. EVALUATION DES APPLICATIONS

Dans ce qui suit nous allons faire une évaluation électroacoustique et médicale des trois solutions mises au point.

A. Evaluation électroacoustique

Ces voltages sont mesurés pour les seuils d'intensités de chaque fréquence pour chaque conduction (aérienne et osseuse) ainsi qu'une intensité inférieure au seuil d'un pas, afin de mettre en évidence la justesse de changement de différence de potentiel pour le changement du SPL.

VIII. EVALUATION MEDICALE

Une version prototype de notre logiciel a été évaluée par des tests audiométriques pratiques sur une cinquantaine de patients, d'âges et de sexes différents au niveau du service ORL de l'hôpital Beni messous, dirigé par le professeur Zemirli. Les tests ont été réalisés sous sa direction en utilisant notre Audiomètre Virtuel et celui de l'hôpital AC33. Ces tests ont été jugés concluants. Les performances de l'audiomètre virtuel sont équivalentes à celles de l'audiomètre autonome AC33 de l'hôpital. Cette étape constitue une validation médicale de l'audiomètre ainsi réalisé.

Les Figure 14 est une exemple d'audiogrammes de comparaison réalisés sur des personnes à l'aide de l'audiomètre AC33 et notre audiomètre virtuel, l'ensemble de tous les audiogrammes réalisés peut être observé au niveau de l'équipe Dispositifs et Systèmes Médicaux au niveau de la Division Architecture des Systèmes et Multimédias du Centre de Développement des Technologies Avancées.

IX. 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. 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, simple à utiliser et indépendant des circuits électroniques externes. Un tel appareil présente sans doute un impact scientifique et socio-économique.

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 et intuitive. 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 faite avec l'appui du Dr Abdelhamid Benia au niveau du service ORL du Pr Omar Zemirli de l'hôpital Issad Hassani de Beni Messous pour une expertise.

Les tests de validation par des examens d'audiométrie sur des patients ont donné des résultats très satisfaisants. Ils permettent de laisser dire que notre appareil est d'un même niveau de test médical que les appareils du marché tel que l'AC50 de Sibelmed et le MA33 de Maico.

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.

REFERENCES

- [1] J. Tremolières. « Électronique et Médecine ». Éditions Radio. Paris: 1967
- [2] Librairie Larousse
- [3] « La grande encyclopédie ». Paris: 1992.V.2
- [4] JOHN COLIBR: « Les versions de Delphi »Site http://www.jcolibri.com/articles/delphi/les_versions_delphi/les_versions_delphi.html
- [5] DEVELOPPEZ ; CLUB DES PROFESSIONNELS DE L'INFORMATIQUE : « Témoignages sur Borland »InterBase Site web: <http://sgbd.developpez.com/testinterbase/>
- [6] Manuel d'emploi concernant l'audiomètre RT150.
- [7] . Notice d'utilisation du modèle audiomètre RT150
- [8] F. YKHLIF: «Practical Use of an Audiometer Based on Computer Software for Hearing Loss Screening» International Conference on Systems and Information Processing (ICSIP'09), Guelma, Algeria, May 2-4, 2009
- [9] Thomas FILLON, « Traitement Numérique du Signal Acoustique pour une Aide aux Malentendants », Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, Paris, 2004.
- [10] Denis AYACHE et Pierre BONFILS, « ORL». Collection MED, E.4, 1^{ère} partie, 2006.