

Correction par Réseaux de Neurones Artificiels Des Troubles d'Articulé Dentaire chez un Locuteur Arabophone

Fodhil HEMRI & Mhania GUERTI

Ecole Nationale Polytechnique Alger

hemri.fodhil@yahoo.fr

mhania.guerti@enp.edu.dz

Résumé

Le but de notre travail est la correction des troubles causés par le port de la prothèse dentaire lors de la prononciation des dix consonnes dentales de la langue arabe.

Pour atteindre cet objectif, nous avons élaboré un corpus de mots contenant toutes les consonnes dentales dans les différentes positions qui existent en Arabe (initiale, médiane et finale). Pour cela, nous avons choisi deux ensembles : des Sujets Normaux (SN), comme Référence et des Sujets ayant des troubles de la prononciation, occasionnés par le port de la Prothèse Dentaire (SPD).

Pour calculer le Taux de Reconnaissance (TR) des consonnes dentales des SN et des SPD, nous commençons par l'enregistrement des signaux de parole, des mots porteurs des 10 phonèmes choisis. Nous faisons la segmentation manuelle à l'aide du logiciel Speech Filing System Software (SFS). Par la suite, nous utilisons l'environnement Matlab. Nous extrayons les paramètres caractérisant le signal acquis à l'aide des MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients) et Delta MFCC (la dérivée première des MFCC). Finalement, nous calculons le TR de ces phonèmes en appliquant les Réseaux de Neurones Multicouches (Multi Layer Perceptrons : MLP).

Pour corriger les troubles de la prononciation, causés par le port de la prothèse dentaire, nous calculons la Distance Euclidienne (DE) entre les paramètres des enregistrements des deux ensembles de sujets, en les répétant jusqu'à ce que la DE soit minimale ou

tende vers zéro.

Les résultats obtenus ont un TR de classification moyen global, de 75.50%, concernant les phonèmes du corpus prononcé par les SN. Par conséquent, nous déduisons que nos résultats sont acceptables et peuvent être considérés comme satisfaisants. Cependant, ce TR peut être meilleur en enrichissant la Base de Données et en améliorant les conditions d'enregistrement.

Mots Clés:

Prothèse dentaire - langue arabe - correction de la prononciation - reconnaissance automatique de la parole - réseaux de neurones artificiels-MFCC - distance euclidienne.

الملخص

الهدف من عملنا هو تصحيح الأخطاء الناتجة عن ارتداء أطقم الأسنان أثناء نطق 10 أصوات أسنانية للغة العربية

لتحقيق هذا الهدف، وضعنا مجموعة من الكلمات التي تتضمن كافة الصوامت المختلفة الموجودة في اللغة العربية (أول، وسط وآخر الكلمة) لهذه الأسباب قمنا باختيار مجموعتين من الأشخاص، مجموعة من الأشخاص العاديين كمرجع ومجموعة من الأشخاص الذين يرتدون أطقم الأسنان.

لحساب معدل الأسنانية للأشخاص العاديين وكذلك الأشخاص الذين يرتدون أطقم الأسنان بدأنا بالتسجيل الصوتي للصوامت العشرة ثم بالتقطيع اليدوي للبنيات المسجلة المختارة وذلك باستخدام بالتسجيل الصوتي للصوامت العشرة ثم بالتقطيع اليدوي للبنيات المسجلة المختارة وذلك باستخدام Speech Filing System Software (SFS) ثم نستخرج باستعمال برمجة Matlab الخصائص التي تتميز بها الإشارة والتي نحصل عليها بطريقتين MFCC (معاملات ميل التردد Cepstral) و Delta MFCC (المشتقة الأولى لها). وأخيرا حساب معدل التعرف للصوامت الأسنانية باستخدام شبكة العصبونات (طبقة متعددة : MLP). لتصحيح مشاكل النطق الناتجة عن ارتداء أطقم الأسنان، نقوم بحساب المسافة الإقليدية بين عوامل هاتين المجموعتين من الأشخاص العاديين والذين يرتدون أطقم الأسنان مع تكرارها وذلك لتقليص المسافة الإقليدية حتى تصل إلى القيمة الصغرى أو الأقرب من الصفر.

تحليل النتائج جاءت جد محفزة لأننا حققنا معدل التعرف على الصوامت الأسنانية من الأمثلة العربية المختارة. قد قدرت نسبة التصنيف العام بالنسبة للأشخاص العاديين بـ 50، 75% ولقد تحصلنا على نتائج مقبولة، يمكن اعتبارها مرضية. ومع ذلك، يمكن تحسين معدل التعرف بإثراء قاعدة المعطيات وتحسين شروط التسجيل.

كلمات المفاتيح:

طب الأسنان الترقيعي - اللغة العربية - تصحيح النطق - التعرف الآلي على الأصوات - شبكة العصبونات - SFS - Matlab المسافة الإقليدية - MFCC .

Abstract

The aim of our work is to correct disorders caused by wearing the denture during the pronunciation of the 10 arabic dental phonemes

To achieve this goal, we developed a corpus of words containing these phonemes in different positions that exist in Arabic (initial, median and final). For this, we chose two sets of subjects: Normal Subjects (NS) as Reference and a set of Subjects Wearing Dentures (SWD).

To calculate the Recognition Rate (RR) of dental phonemes uttered by NS and SWD, we start with data acquisition that consists of saving the selected

corpus of 10 phonemes and then by performing manual segmentation using the Speech Filing System (SFS). The Matlab software was used to code the system components. The acoustic analysis we performed, consists of extracting the MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients) and Delta MFCC (first derivative of MFCC). The RR of dental phonemes are performed by using Multi Layer Neural Networks (Multi Layer Perceptrons: MLP). To solve the problems of pronunciation caused by the wearing of dental prosthesis, we calculate the Euclidean Distance (ED) between the two categories of parameters and repeat the phonemes to decrease up to reach the neighborhood of zero. The results are promising since a satisfactory classification rate of 75.50% was achieved when the task consisted of verifying that problematic phonemes were effectively corrected. However, the RR can be improved by enriching the corpus and enhancing the recording conditions.

Key words:

Denture - Arabic Language - Correction of the Pronunciation - Automatic Speech Recognition - Artificial Neural Networks - SFS software - Matlab - Euclidean Distance - MFCC.

1. Introduction

L'objectif de notre travail, est la correction des troubles de la prononciation des consonnes dentales de la langue arabe, causés par le port de la prothèse dentaire. Pour cette raison, nous avons élaboré deux corpus, un pour les Sujets Normaux (SN) comme Référence et un autre pour les Sujets portant une Prothèse Dentaire (SPD). Nous avons étudié la méthode de prononciation pour chaque phonème présent dans les deux corpus. Nous commençons par l'enregistrement des signaux de parole, des mots porteurs des phonèmes choisis. Une segmentation manuelle a été faite à l'aide du logiciel Speech Filing System (SFS), ensuite nous avons utilisé l'environnement Matlab. Nous étudions la reconnaissance de l'unité de base de la parole à savoir le phonème. Ce travail s'articule autour des variantes de l'extraction des caractéristiques du signal vocal par l'utilisation des MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients) et Delta MFCC (la dérivée première de MFCC). Finalement, nous calculons le Taux de Reconnaissance des consonnes dentales en appliquant les Réseaux de Neurones Artificiels (RNA) Multicouches (Multi Layer Perceptrons: MLP).

2. Mécanisme de production de la parole

La parole est le résultat de l'action volontaire et coordonnée des appareils respiratoire et phonatoire, sous le contrôle d'un système nerveux central qui reçoit des informations par rétroaction auditive et par les sensations cénesthésiques (Figure 1).



Figure 1: Appareil phonatoire humain [01]

Nous allons savoir quelques notions sur les troubles du langage oral concernant les personnes qui parlent peu ou mal. Le trouble d'articulation est une erreur permanente, systématique dans l'exécution du mouvement qu'exige la production d'une consonne, quelle que soit sa position dans le mot ou dans la phrase.

Les modifications affectant les dents peuvent déclencher des mécanismes d'adaptation de la production de la parole. Il peut s'agir de l'omission ou de la

distorsion d'une consonne, ce qui engendre une difficulté lors de la réalisation d'une prothèse dentaire. Cette dernière est une partie de la dentisterie qui remplace les dents manquantes. Il existe plusieurs types de la prothèse dentaire: fixe ; amovible et avec implants.

Le port d'une prothèse dentaire peut influencer la production de la parole surtout au niveau des consonnes dentales de n'importe quelle langue y compris celle de la langue arabe.

Etant donné que notre travail concerne les 10 consonnes dentales de la langue arabe, il nous a semblé nécessaire de présenter leurs modes et lieux d'articulation (tableau 1).

Mode	Fricatives				Occlusives				Nasales	Liquides	Affriquée	Vibrante	Semi-voyelle
	Emphatique		Non Emphatique		Emphatique		Non Emphatique		Non Emphatique				
Lieu	V	NV	V	NV	V	NV	V	NV	V				
Labiodental			[f] ف										
Interdental	[d] ظ	[d] ذ		[t] ث									
Dental					[d] ض	[t] ط	[d] د	[t] ت	[n] ن	[l] ل			

Tableau 1: Modes et lieux d'articulation des consonnes dentales de l'Arabe Standard [02]

Voisée: V et Non Voisée: NV

2.1. Critères de classification des consonnes

On peut classer ces consonnes selon:

- le mode d'articulation qui définit le type d'ouverture de la cavité buccale et permet de définir trois types de consonnes dentales:
 - occlusives où l'obstruction du passage de l'air est presque totale: [d̥], [d], [t̥] et [t];
 - fricatives où l'obstruction n'est que partielle: [f], [t̪], [d̪] et [d̪];
 - sonantes, pour les consonnes nasales, latérales (liquide): [n] et [l].
- le lieu d'articulation qui définit l'endroit où s'effectue l'obstruction et permet de définir trois types de consonnes:
 - labio-dentale: se situe entre la lèvre inférieure et les dents de la mâchoire supérieure [f];

- dentales se situent au niveau des dents [d], [t], [d], [t], [n] et [l];
- inter-dentales se situent entre les incisives inférieures et supérieures [t̪], [d̪] et [ɖ].

2.2. Etude articulatoire et acoustique de la consonne [t]

A titre d'exemple, nous avons étudié la consonne dentale [t], sur le niveau articulatoire, nous remarquons que (Figure 2):

- son mode d'articulation est occlusif: elle est produite en obstruant le flux de l'air dans le conduit vocal;
- son point d'articulation est dental: elle est articulée avec la langue au contact des dents supérieures;
- sa phonation est sourde: elle est produite sans vibrations des cordes vocales.

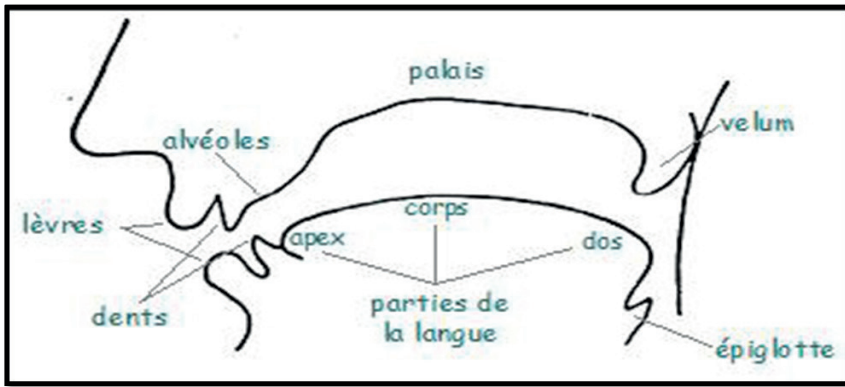


Figure 2: Etude articulatoire du phonème [t]

Pour l'étude acoustique, nous pouvons voir le spectrogramme qui est une représentation graphique des paramètres et indices acoustiques de la parole. La figure 3, montre les spectrogrammes des séquences [da], [ta], [da], [ta] produites par un même locuteur.

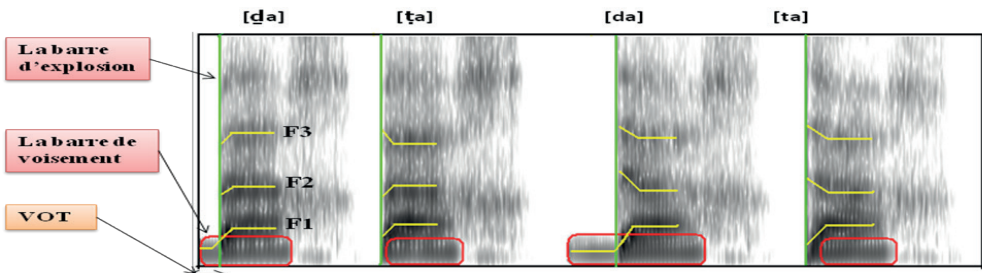


Figure 3: Spectrogrammes des séquences [da], [ta], [da], [ta], produites par un même sujet.

Représentation des barres, d'explosion, de voisement et des formants

Plusieurs indices acoustiques peuvent être observés [03]:

- les formants: sont des bandes de fréquence qui, par résonance, sont ampli-

fiées lors du passage du son dans les cavités pharyngales (Formant 1 ou F_1), buccales (F_2) et labiales (F_3);

- les transitions formantiques désignent les changements de fréquences entre les configurations articulatoires successives, comme par exemple celles des consonnes et des voyelles;
- la barre d’explosion correspond au relâchement de l’air bloqué dans le conduit vocal lors de l’occlusion de la consonne;
- la barre de voisement est une bande d’énergie périodique en basses fréquences, engendrée par les vibrations des cordes vocales, durant l’occlusion de la consonne;
- le Délai d’Etablissement du Voisement (DEV) ou Voice Onset Time (VOT) est l’intervalle de temps compris entre les barres d’explosion et de voisement.

Nous observons les caractéristiques acoustiques du phonème [t̥] (Figure 4):

- une barre d’explosion (burst) de durée relative allant de 10 à 15 ms;
- une durée du VOT d’environ 4 à 8 ms;
- une absence de bruit de friction.

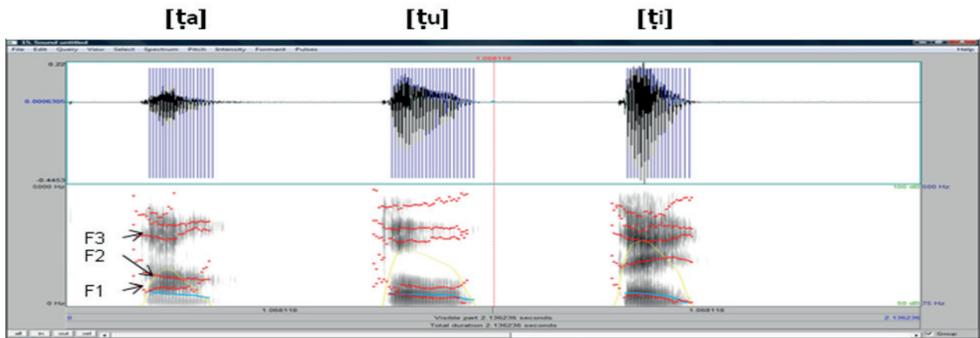


Figure 4: Transitions formantiques de la consonne [t̥] en contexte vocalique [a, u, i]

Pour la consonne [t̥], les valeurs formantiques et les durées dans les différents contextes vocaliques sont représentés dans le Tab.2.

Consonne dentale	Voyelle suivante	(Hz)					(ms)
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	d
[t̥]	[a]	507	1336	2896	3546	4516	153
	[i]	701	1927	2775	3681	4023	188
	[u]	608	1997	2851	3892	4531	164

Tableau 2: Valeurs des 3 premiers formants dans tous les contextes, de la dentale [t̥].

3. Méthodes de reconnaissance de la parole

Parmi les principales méthodes appliquées à la Reconnaissance Automatique de la Parole, nous pouvons citer l'approche:

- analytique qui procède par segmentation en unités de base (le phonème, la syllabe, la demi syllabe, le mot, etc.). Cette méthode est utilisée dans notre étude;
- globale qui nécessite deux phases:
 - l'apprentissage permettant de constituer le dictionnaire à partir des images acoustiques des mots, définit le modèle associé à chaque mot;
 - les RNA: nous avons choisi d'utiliser un système de reconnaissance de la parole, basé sur un réseau connexionniste de type Perceptron Multicouche, pour plusieurs raisons. Tout d'abord, ces réseaux ont de grandes capacités d'apprentissage. Ils résistent remarquablement aux bruits, leur robustesse aux données manquantes, possède une forte capacité discriminante qui a montré leurs aptitudes en parole, notamment pour les mots isolés [05] (Figure 5).

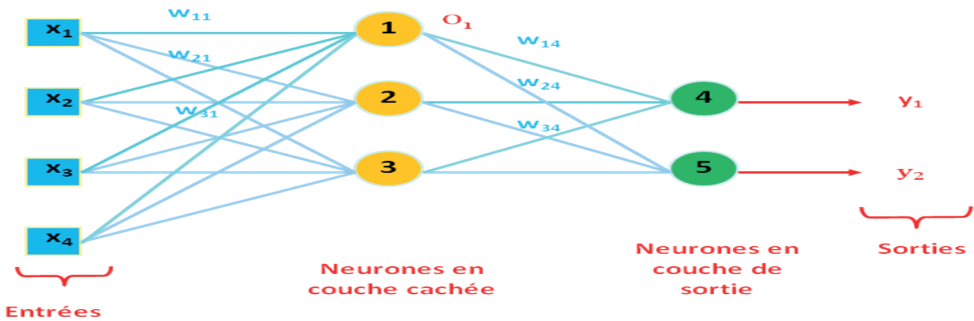


Figure 5: Exemple d'un RNA

4. Expériences et Résultats

Dans cette partie, nous allons présenter l'architecture globale de la reconnaissance qui est basée sur la présentation en premier lieu du logiciel d'acquisition du signal vocal ainsi que les différents MFCC et les delta MFCC pour les deux ensembles de sujets. Ensuite, nous faisons la classification des consonnes en utilisant les RNA, pour le calcul du TR de chaque ensemble (Figure 6).

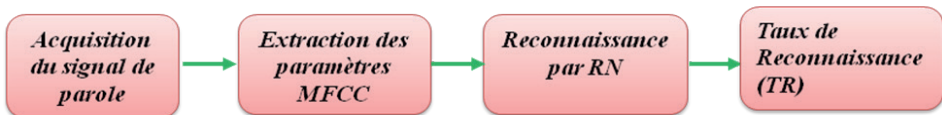


Figure 6: Schéma global du système de Reconnaissance

Après cette étape, nous calculons la Distance Euclidienne pour corriger les

troubles de la prononciation, qui proviennent du port de la prothèse dentaire chez certains sujets.

Pour détailler notre système de reconnaissance, nous avons suivi plusieurs étapes.

4.1. Elaboration du corpus

La première étape concerne l'élaboration du corpus choisi. Ce dernier comprend 30 mots contenant les 10 consonnes dentales prononcées en Arabe, dans les différentes positions existantes (initiale, médiane et finale) prononcé par 29 locuteurs: 20 Sujets Normaux et 9 Sujets porteurs de Prothèses Dentaires (tab. 3).

Consonnes dentales en AS	Transcription API	Position		
		Initiale	Médiane	Finale
		د	د/د	د/د
د	[d]	daxala دخل	hadafa هدف	«amada عمد
ت	[t]	taraka ترك	nataja نتج	qanata قنت
ض	[d̪]	dahika ضحك	naḍaha نضح	ramada غمض
ط	[t]	ṭaraqa طرق	«aṭaba عطب	qahaṭa قحط
ف	[f]	fahima فهم	nafada نفض	qaṭafa قطف
ث	[t̪]	ṭabata ثبت	kaṭaba كثب	lahaṭa لهث
ظ	[d̪]	ḍalla ظلّ	naḍḍafa نظّف	ralaḍa غلظ
ذ	[d̪]	ḍahaba ذهب	«aḍala عذل	laḍḍa لذّ
ن	[n]	nāma نام	ranima غنم	xatana ختن
ل	[l]	lamaḥa لمح	malaja ملج	sa«ala سعل

Tableau 3: Exemples de mots comprenant des consonnes dentales dans les différentes positions de l'Arabe Standard (AS)

4.2. Acquisition des données

Les consonnes dentales que nous avons étudiées ont été enregistrées à l'aide d'un logiciel d'acquisition des données, Speech Filing System (SFS) avec une fréquence d'échantillonnage de 44.1 kHz. Ensuite, nous avons fait une segmentation manuelle. Nous avons obtenu 600 fichiers wav, pour les SN et 270 fichiers pour les SPD (Figure 7).

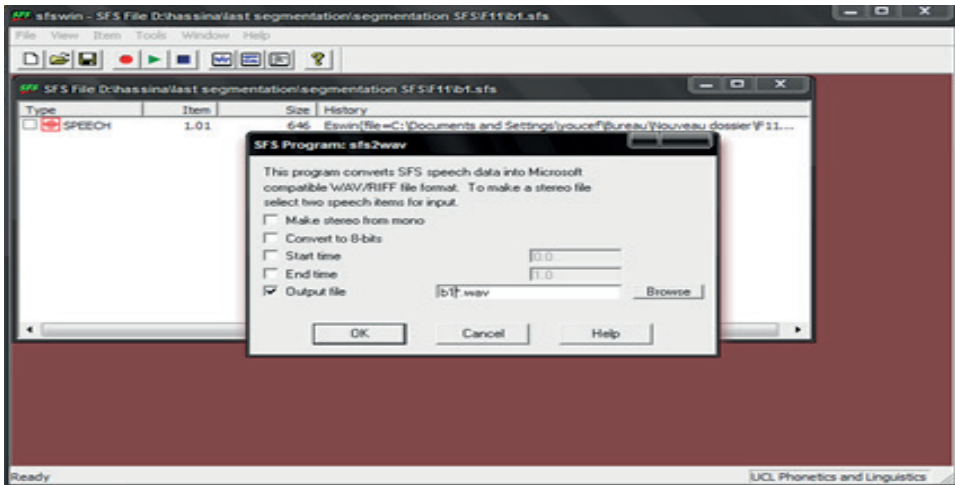


Figure 7: Interface du logiciel SFS WAV

4.3. Extraction des MFCC et Delta MFCC

Pour extraire les MFCC, il faut passer par les étapes suivantes [06]:

- découpage du signal de parole en trame de 20 ms (stationnarité) toutes les 10 ms (chevauchement en évitant les transitions brusques de trame en trame);
- préaccentuation du signal, il s'agit de faire ressortir les Hautes Fréquences avec un filtre passe-haut;
- application d'une fenêtre de Hamming sur ces trames (pour la continuité aux bords), sur des tranches de signal de longueur 256 échantillons;
- calcul de la FFT sur chaque trame, pour obtenir le spectre (transformer des données du domaine temporel vers le domaine fréquentiel);
- création d'un banc de filtres Mels, il s'agit de plusieurs filtres triangulaires, chacun va couvrir une fréquence. Ces filtres permettent de mieux simuler le fonctionnement de l'oreille humaine;
- calcul du logarithme du module de l'énergie en sortie du banc de filtres;
- application de la Transformée en Cosinus Discrète inverse (TCDi), pour donner la partie réelle de la Transformée de Fourier. Nous obtenons alors les MFCC.

Enfin, nous calculons la première dérivée temporelle des MFCC, pour obtenir les Delta MFCC, afin d'améliorer les performances de la reconnaissance vocale du système.

Nous réduisons le nombre de données caractérisant le signal et nous en ressortons 24 coefficients Cepstraux par fenêtre, en utilisant les MFCC et les Delta MFCC.

4.4. Variantes des MFCC pour les SN

Après l'extraction des caractéristiques du signal vocal par les MFCC et Delta MFCC, le résultat est représenté dans le tableau 4. Ce dernier contient un ensemble de cepstres représentant les consonnes d'apprentissage et de tests sous formes de matrice, de taille: nb_coef x nb_vect, où nb_coef=12 et nb_vect est le nombre des trames variables selon la durée des consonnes.

	1	2	.....	239	240
1	1,074	1,061	.....	1,025	0,895
2	0,531	0,507	.....	0,668	0,576
3	0,083	0,193	.....	0,259	0,279
4	0,217	0,107	.....	0,238	0,147
5	0,067	0,025	.....	0,055	0,047
6	0,043	0,028	.....	0,078	0,097
7	0,056	0,093	.....	0,038	0,038
8	0,158	0,11	.....	0,059	0,039
9	0,162	0,164	.....	0,044	0,057
10	0,089	0,124	.....	0,024	0,047
11	0,167	0,145	.....	0,050	0,050
12	0,080	0,099	.....	0,109	0,115

Tableau 4: Variantes des MFCC pour les SN

Les paramètres résultants sont présentés à l'entrée d'un Réseau de Neurones (RN) Multicouches (MLP) qui est composé de:

- 32 couches en entrée;
- 32 couches cachées qui assurent le passage de l'entrée vers la sortie du RN par traitement des données;
- 10 couches de sortie, pour afficher les consonnes à reconnaître.

La classification des consonnes par RN passe par l'étape d'apprentissage supervisé, qui consiste à calculer l'évolution de l'Erreur Quadratique Moyenne (EQM).

Nous représentons l'évolution de l'EQM pour l'apprentissage du RNA par les MFCC pour les SN, en fonction du nombre d'itérations de l'apprentissage (Figure 8). Nous remarquons que sur la base de l'apprentissage, l'erreur diminue toujours. Pour arrêter l'apprentissage deux méthodes permettent de:

- limiter le nombre d'itérations (dans notre cas, nous choisissons 2000 itérations);

- définir la valeur du seuil de l'EQM (dans notre cas, le seuil de l'erreur est égal à 0.01).

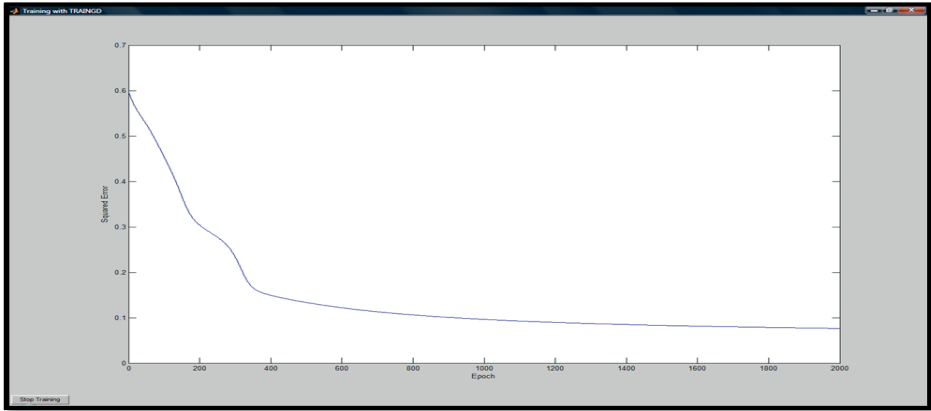


Figure 8: Variation de l'erreur d'apprentissage du réseau par les MFCC pour les SN

4.5. Le TR pour les SN et SPD par les MFCC et Delta MFCC

La deuxième étape, concerne le test qui consiste à identifier les consonnes à reconnaître en présence d'autres consonnes, afin de calculer le Taux de la Reconnaissance (TR). Le tableau 5 représente le TR pour les SN par les MFCC. Nous remarquons que la consonne [d] réalise un TR plus important, comparé aux autres consonnes. Par contre, la consonne [t] a réalisé un TR très faible en comparaison avec les autres consonnes dentales.

Consonnes dentales	Transcription en API	Dimension phonème	Partie apprentissage	Partie test	Reconnue	TR (%)
د	[d]	240	120	120	103	85,83%
ت	[t]	240	120	120	85	70,83%
ض	[ɖ]	260	130	130	107	82,30%
ط	[t̤]	237	115	122	75	60,47%
ف	[f]	220	110	110	72	65,45%
ث	[t̤]	220	110	110	62	56,36%
ظ	[ɖ̤]	243	120	123	101	82,11%
ذ	[d̤]	234	115	119	96	80,67%
ن	[n]	286	140	146	111	76,02%
ل	[l]	245	120	125	94	75,20%

Tableau 5: TR pour les SN basé sur les MFCC

Pour les SN, nous remarquons que le TR des Delta MFCC est meilleur par rapport à celui calculé à partir des MFCC (Tab 6).

Consonnes dentales	Transcription en API	Dimension phonème	apprentissage	Partie test	reconnue	TR (%)
د	[d]	240	120	120	105	87,50%
ت	[t]	240	120	120	85	70,83%
ض	[ɖ]	260	130	130	111	85,38%
ط	[t]	237	115	122	77	63,11%
ف	[f]	220	110	110	77	70,00%
ث	[t]	220	110	110	69	62,72%
ظ	[ɖ]	243	120	123	105	85,36%
ذ	[d]	234	115	119	100	84,03%
ن	[n]	286	140	146	118	80,82%
ل	[l]	245	120	125	95	76,00%

Tableau 6: TR pour les SN basé sur les Delta MFCC

Nous remarquons que le TR pour les SPD en fonction des MFCC est faible par rapport à celui des SN, particulièrement pour la consonne [t]. Ceci est dû à la présence des troubles dentaires chez les SPD (Tab 7).

Consonnes dentales en AS	Transcription en API	Dimension phonème	apprentissage	Partie test	reconnue	TR (%)
د	[d]	354	180	174	62	45,63%
ت	[t]	340	170	170	60	35,29%
ض	[ɖ]	356	180	176	82	46,59%
ط	[t]	330	165	165	65	39,39%
ف	[f]	332	170	162	49	30,24%
ث	[t]	317	160	157	42	26,75%
ظ	[ɖ]	340	170	170	81	47,64%
ذ	[d]	350	175	175	82	46,85%
ن	[n]	335	165	170	78	45,88%
ل	[l]	345	170	175	80	45,71%

Tableau 7: TR en fonction des MFCC pour les Sujets porteurs des Prothèses Dentaires

Nous remarquons que le TR pour les SPD avec les Delta MFCC est meilleur par rapport à celui calculé à partir des MFCC (Tab 8).

Consonnes dentales	Transcription en API	dimension phonème	apprentissage	Partie test	reconnue	TR (%)
د	[d]	354	180	174	82	47,12%
ت	[t]	340	170	170	67	39,41%
ض	[ɖ]	356	180	176	80	45,45%
ط	[t]	330	165	165	66	40,00%
ف	[f]	332	170	162	57	35,18%
ث	[t]	317	160	157	47	29,93%
ظ	[ɖ]	340	170	170	84	49,41%
ذ	[ɖ]	350	175	175	85	48,57%
ن	[n]	335	165	170	80	47,05%
ل	[l]	345	170	175	82	46,85%

Tableau 8: TR pour les SPD avec les Delta MFCC

4.6. Calcul de la Distance Euclidienne entre les consonnes dentales pour les SN et les SPD

Pour corriger les troubles de la prononciation des consonnes dentales, nous avons calculé le TR de celles-ci à l'aide de la **Distance Euclidienne (DE)** entre les paramètres des deux ensembles. La réduction de cette distance jusqu'à une valeur minimale, par répétition des consonnes, permet de rapprocher la prononciation des SPD de celle des SN.

Le tableau 9 représente les résultats des valeurs de la DE des consonnes dentales entre les SN et SPD.

Consonnes dentales	Transcription en API	DE entre les 2 classes
د	[d]	2,02
ت	[t]	3,35
ض	[ɖ]	2,41
ط	[t]	4,76
ف	[f]	4,88
ث	[t]	5,52
ظ	[ɖ]	2,10
ذ	[ɖ]	2,15
ن	[n]	2,25
ل	[l]	2,55

Tableau 9: Calcul de la DE entre les paramètres des consonnes dentales pour les SN et les SPD

5. Conclusion

Nous avons calculé les Taux de Reconnaissance (TR) pour les consonnes dentales de la langue arabe, à partir d'un corpus choisi. Nous avons déduit que les résultats sont acceptables et peuvent être considérés comme satisfaisants. Cependant, ce TR peut être meilleur en enrichissant la Base de Données et en améliorant les conditions d'enregistrement.

Pour les SN, le TR est intéressant pour les phonèmes [d], [d̥], [ḍ], [ḍ̥], [l] et [n] qui correspondent aux phonèmes voisés comparés aux [ṭ], [t], [f] et [ṭ̥] qui sont non voisés d'une part, et d'autre part le TR des consonnes dentales du corpus est intéressant en utilisant les Delta MFCC par rapport aux MFCC seuls.

Pour les SPD, le TR pour la consonne non voisée [ṭ] est faible par rapport aux autres consonnes dentales à cause de la présence des troubles dentaires chez les SPD.

Le TR des consonnes dentales pour les SN est plus important comparé aux SPD, car ces derniers prononcent mal les consonnes dentales. Par conséquent, l'utilisation de la prothèse dentaire peut influencer la prononciation de cette classe de consonnes.

Pour calculer la DE entre les paramètres des deux ensembles de sujets, nous trouvons que la DE pour les consonnes [ṭ], [t], [f] et [ṭ̥] est importante par rapport à celle des autres. Pour corriger les troubles chez les SPD, il faut répéter ces consonnes et calculer à chaque fois la DE entre les paramètres des deux classes de manière à ce qu'elle tende vers zéro.

Bibliographie

- <http://henrietteg.com/glossword>
- J. Cantineau, *Cours de Phonétique Arabe*, Editeur C. Klincksieck, 1960, 167 pages.
- M. Barkat, Détermination d'Indices Acoustiques Robustes pour l'Identification Automatique des Parlers Arabes, Thèse de Doctorat, Université Lumière Lyon 2, 28/04/2000.
- Pierre Borne, Mohamed Benrejeb, Joseph Haggège, *Les réseaux de neurones, Présentation et Applications*, Editeur(s): Technip, Collection: Méthodes et pratiques de l'ingénieur, 30/07/2007, 152 pages.
- M. Kabache & M. Guerti, Application des Réseaux de Neurones à la Reconnaissance des phonèmes spécifiques à l'Arabe Standard, Conférence Internationale IEEE: Sciences Electroniques, Technologies de l'Information et des Télécommunications, SETIT'2005, Résumé: p. 218. Article sur CD N° 179, 27-31 Mars 2005, Sousse - Tunisie, ISBN 9973-51-546-3.
- K. Ferrat and M. Guerti, Classification of the Arabic Emphatic Consonants Using Time Delay Neural Network, International Journal of Computers Applications, Int J Comput Appl, Volume 80, N°10, pp. 1-6, October 2013.
ISSN: 0975- 8887, DOI: 10.5120/13894 - 9341
IJCATM: www.ijcaonline.org