

Au cours des 50 dernières années, l'étude des sons emphatiques a fasciné plus d'un linguiste en raison de leurs représentations variées phonologiques, leurs modes d'articulation et de co-articulation complexes, leur développement tard dans le processus d'acquisition du langage, et leur structuration sociolinguistique et interlinguistique. La grande complexité de la reconnaissance automatique de la parole provient non seulement de certaines caractéristiques spécifiques du signal vocal qui le rendent difficile à analyser certes, mais surtout dans le cas des consonnes, ceci est d'autant plus vrai en présence de l'emphase.

La langue arabe connaît une série de consonnes complexes dites emphatiques. Leur reconnaissance consiste en l'occurrence un réel défi et le but de ce travail est d'implémenter un module de Décodage Acoustico-Phonétique capable de reconnaître ces consonnes, caractéristiques de la langue arabe.

De nombreux travaux ont traité de ce fait linguistique de l'emphase, selon différents aspects: phonétique, phonologique, théorique, historique, philologique, etc. On se propose d'examiner le mécanisme de l'emphase sur le plan acoustico-articulatoire en effectuant une synthèse des travaux et expérimentations déjà établies pour la compréhension du comportement des organes lors de l'articulation et leur conséquence acoustique en examinant leurs rapports avec leurs homologues non emphatiques.

L'étude se consacrera principalement à la tentative de mise en évidence du caractère emphatique en s'appuyant sur un ensemble de techniques et différentes méthodes qui permettent d'apporter une certaine amélioration au niveau du système de reconnaissance de la parole pour les consonnes emphatiques arabes en faisant d'abord, une rétrospective sur la problématique tout en essayant de lever quelques ambiguïtés. Ainsi, l'emphase est étudiée et discutée selon le point de vue articulatoire, phonétique, phonologique et surtout acoustique. On fera appel à des classifieurs neuronaux (MPC, Réseau Gamma, LVQ) pouvant intégrer en eux-mêmes la notion d'extraction de caractéristiques discriminantes pour pouvoir par la suite discerner la notion d'emphase dans les consonnes impliquées.

Il s'agira dans cette étude de faire ressortir, à partir de différentes analyses et études exploratoires, les paramètres ou caractéristiques acoustiques à même de permettre à la machine la distinction entre phonèmes emphatiques et non emphatiques. Ce défi reste de nos jours ouvert malgré maintes tentatives en ce sens.

L'interprétation à travers la théorie quantique semble conforter notre contribution à propos des rapprochements des paires formantiques F1-F2 d'une part, et F3-F4 d'autre part (affiliation des formants aux points focaux); et nous incite avec l'apport de la notion quantique basée sur la non linéarité du passage d'un paramètre de commande articulatoire à un paramètre de sortie acoustique, à en tenir compte à l'avenir pour pouvoir apporter quelques éclaircissements s'agissant de l'emphase qui fait intervenir deux places de constriction.

Il y a des sujets pour lesquels une vie consacrée toute entière ne suffit pas, car leur importance en fait leur richesse. L'emphase est une nécessité pour la langue arabe, une problématique non encore élucidée multidirectionnelle (ou multidisciplinaire) et pourtant la machine est incapable de nos jours de différencier ou discerner son emprise, c'est même un sujet à controverse: plus on avance et plus on doute. Certains préfèrent même rejeter carrément l'emphase. Mais, sans cette emphase, l'arabe n'est rien. Chez les siens, on l'appelle même la langue du dad.

—

Mots-clés : Emphatiques arabes, Phonétique, Phonologie, Décodage acoustico-phonétique, Extraction de caractéristiques, Reconnaissance des phonèmes, Réseaux de neurones Gamma, LVQ, MPC, MFCC.

Over the last 50 years, the study of emphatic sounds has fascinated many linguists due to their varied phonological representations, their complex articulation and co-articulation patterns, their late development in the process of language acquisition, and their sociolinguistic and crosslinguistic patterning. The big complexity of the automatic speech recognition comes not only from some specific features of the vocal signal that make it certainly difficult to analyze, but especially in the case of the consonants, it is of as much truer in presence of the emphasis.

The Arabian language knows a set of grandiloquent complex consonants so-called *emphatics*. Their recognition consists of a real challenge in this case and the goal of this work is to implement a module of an Acoustico-phonetics Decoding, capable to recognize these consonants, feature of the Arabian language.

Many studies have addressed this linguistic fact of emphasis, according to various aspects: phonetic, phonological, theoretical, historical, philological, etc. We will examine the mechanism emphasis on the acoustic-articulatory plane by performing a synthesis of the work and experiments already established for understanding the behavior of organs during the articulation and acoustic result by examining their relationships with their non-emphatic counterparts.

The study focused primarily on the detection of attempt emphatic character based on a set of techniques and different methods to bring some improvement in the speech recognition system for Arabic emphatic consonants by first, a retrospective on the issue while trying to remove some ambiguities. Thus, the emphasis is studied and discussed by the articulation point of view, phonetic, phonological and mostly acoustic. It will appeal to neural classifiers (LPC Network Gamma, LVQ) which integrate in themselves the concept of extraction of discriminating characteristics in order to subsequently discern the concept of emphasis on the consonants involved.

It is in this study to highlight, from different analyzes and exploratory studies, acoustic parameters or characteristics able to allow the machine distinguish emphatic phonemes and non emphatic ones. This challenge remains nowadays open in spite of many attempts in this sense.

The interpretation through quantum theory seems to confirm our contribution about links formant pairs F1-F2 on the one hand, and F3-F4 on the other (affiliation formant focal points); and encourages us with input of quantum concept based on the nonlinearity of the passage of a control parameter articulation to an acoustic output parameter to consider in the future to be able to bring some clarification with regard to the emphasis that involves two constricted spaces.

There are subjects for which a life devoted whole is not enough, because their importance is in their wealth. The emphasis is a necessity for the Arabic language, an issue not yet clear multidirectional (or multidisciplinary) and yet the machine is unable nowadays to differentiate or distinguish its grip, it is even a controversial: the more we advance, the more doubt. Some even prefer to reject outright emphasis. But without this emphasis, Arabic language is nothing. Among Arab own, it is even called the language of the dad.

—

Keywords: Arab emphatic, phonetics, phonology, acoustic-phonetic decoding, features extraction, phonemes recognition, Neural Networks Gamma, LVQ, LPC, MFCC.

Remerciements

N'importe qui, qui a entrepris une dissertation doctorale, plus que tout autre, souviendra-t-il de toutes sortes de défis, d'inquiétudes et de nuits blanches. Il se souvient aussi de visages de personnes, de noms et des échanges qui font que ses peines sont amoindries et rejetées au loin. Je devrais savoir qu'il y avait des occasions pour lesquelles certaines difficultés dont j'ai fait face étaient insurmontables. Heureusement, j'ai été entouré par des gens qui étaient passionnés, capables en me tendant une main secourable. Au premier rang est mon Directeur de thèse, *Dr. Abdelkader Benyettou*. C'est difficile de souligner toute la gratitude à un homme qui, durant plusieurs années, a guidé patiemment mes pas à travers cette route envoutante jusqu'à ce que j'aie atteint mon but. J'ai travaillé avec *Dr. Aek. Benyettou* durant des années (Magister et Doctorat) et jamais une seule fois je me rappelle de lui autre que gracieux et positif. Au-dessus de tout, il a inculqué en moi une grande quantité de confiance sans laquelle je doute que ce travail aurait jamais vu le jour: *Remerciements, Mr. Aek. Benyettou*.

En toute honnêteté, j'ai été béni avec un comité de jury constitué de professeurs hautement considérés qui combinent connaissance approfondie de leurs champs respectifs d'étude avec les attitudes de bienveillance.

Je suis reconnaissant au Commandement de L'École Supérieure de l'Air -Tafraoui pour sa générosité de m'avoir accordé l'opportunité pour poursuivre mes études.

Je suis endetté en particulier aux Responsables de la Faculté des Mathématiques et d'Informatique ainsi qu'à ceux du Département d'Informatique pour avoir placé leur foi en moi et me fournir la chance de réaliser mes rêves.

Je tiens à remercier les membres du jury de l'intérêt qu'ils ont porté à mes travaux. Je remercie vivement *M. Dr. Benyettou Mohammed*, d'avoir accepté d'être président de ce travail. Je remercie également *Mr. Profs. Kazar Okba* de l'Université de Biskra, *Rahmoun Abdellatif* de l'École Supérieure d'Informatique-ESI de Sidi-Bel-Abbès et *Boughanmi Nabil* de l'Université USTO-MB d'avoir accepté d'être examinateurs. Je suis très reconnaissant à leurs efforts considérables pour accomplir cette mission.

Je n'oublie pas de remercier tous mes amis du laboratoire *SIMPA USTO-MB* qui m'ont poussé à terminer ce travail, aussi pour la dynamique au sein du groupe sur le plan humain et scientifique. Je ne sais comment exprimer ma gratitude à ces deux personnes *Abderrahmane* et *Nabil* pour leur aide et soutien mais aussi pour leurs encouragements répétés au cours de la rédaction de ce manuscrit.

J'adresse toute mon affection à ma famille parents et beaux-parents, sœurs et frères.

Au souvenir de ma mère et au soutien quotidien indéfectible de mon épouse, son enthousiasme et sa patience à mon égard, ainsi que pour mes adorables enfants. Je ne serai pas là où j'en suis sans eux.

Mon premier, dernier, et continu remerciement va à Allah Tout-puissant qui m'a béni avec tout ce que j'ai et tout ce que je suis. Je Le prie pour me permettre d'utiliser à mon tour ce que j'ai appris pour autrui, à l'image de mes maîtres.

Je suis endetté grandement à tous ces grammairiens arabes (Al-Ani, Ghazali), persans (Sibawayhi, az-Zamaxhari), berbères (Lacib), occidentaux (Cohen, Stevens, Delattre, etc.) mes maîtres pour leur perspicacités dans le champ de la phonétique expérimentale. Je ne peux jamais oublier comment l'échange d'idées entre-eux était gai, respectueux et fructueux pour le bien de tous. Aucun article d'entre-eux ne m'a laissé sans sentir être beaucoup plus informé qu'avant. Je suis très fier de dire que j'ai appris un peu de ces maîtres de renom dans le champ. Peu importe le grade académique qui me sera maintenant conféré présent et à venir, je me considérerai toujours un étudiant de ces messieurs.

Résumé	<i>i</i>
Abstract	<i>ii</i>
Remerciements	<i>iii</i>
Sommaire	<i>iv</i>
Acronymes	<i>vi</i>
Liste des figures	<i>vii</i>
Listes des tables	<i>x</i>
Introduction générale	1
Chapitre I: Description acoustico-articulaire de l'emphase en arabe	4
I.1. Introduction.....	5
I.2. Aperçu sur la langue arabe	5
I.2.1. Les diacritiques.....	6
I.2.2. Le système vocalique arabe.....	8
I.2.3. Le système consonantique arabe.....	8
I.3. Aspects phonologiques et phonétiques des emphatiques.....	11
I.3.1. Le système phonatoire.....	11
I.3.2. Les traits distinctifs acoustico-articulatoires.....	12
I.4. Liens acoustico-articulatoires.....	17
I.4.1. La théorie quantique des traits distinctifs.....	17
I.4.2. La dimension articulatoire de l'emphase.....	23
I.4.3. La dimension acoustique de l'emphase.....	27
I.5. Conclusion.....	30
Chapitre II: Description articulatoire des six consonnes emphatiques arabes	32
II.1. Introduction.....	33
II.2. Points et modes d'articulation.....	34
II.2.1. L'articulation.....	36
II.2.2. Effets de la coarticulation.....	37
II.2.3. La pharyngalisation.....	39
II.2.4. L'emphatisation.....	42
II.3. Les deux occlusives emphatiques de l'arabe.....	42
II.4. Les deux fricatives emphatiques de l'arabe	43
II.5. Les deux sonantes: la latérale et la vibrante	44
II.6. Conclusion	45
Chapitre III: Problématique de l'emphase	47
III.1. Introduction	48
III.2. Les travaux des linguistes contemporains.....	48
III.3. Discussions sur les travaux antérieurs.....	55
III.3.1. La circonscription de la constriction pharyngale.....	55
III.3.2. Vers une modélisation acoustico-articulatoire des voyelles arabes.....	59
III.3.3. Vers une modélisation acoustico-articulatoire des consonnes arabes.....	63
III.4. Essais de mise en évidence de l'emphase.....	65

III.4.1. Sur le statut phonologique de l'emphase en arabe.....	65
III.4.2. Sur la phonétique et la représentation phonologique.....	69
III.4.3. Sur l'évidence phonologique et phonétique de l'emphase.....	70
III.4.4. Sur la représentation géométrique des traits des emphatiques.....	72
III.5. Synthèse des travaux portant sur l'emphase.....	75
III.6. Conclusion.....	78
Chapitre IV: Les modèles d'extraction de caractéristiques.....	80
IV.1. Introduction.....	81
IV.2. Principe d'extraction de paramètres acoustiques.....	82
IV.2.1. Analyse à court terme.....	84
IV.2.2. Codage temporel.....	85
IV.2.3. Codage fréquentiel.....	87
IV.4. Approche par réseau neuronal prédictif.....	90
IV.4.1. Architecture du réseau.....	90
IV.4.2. Algorithme d'apprentissage.....	90
IV.4.3. Application à la classification phonétique.....	101
IV.5. Approche par réseau neuronal Gamma.....	102
IV.5.1. Architecture du réseau.....	102
IV.5.2. Algorithme d'apprentissage.....	104
IV.5.3. Application à la classification phonétique.....	106
IV.6. Le décodage acoustico-phonétique.....	107
IV.6.1. La segmentation.....	108
IV.6.2. L'acquisition et la paramétrisation du signal vocal.....	110
IV.6.3. L'identification phonétique.....	114
IV.6.4. Base de données et matériel disponibles.....	116
IV.7. Conclusion.....	119
Chapitre V : L'identification acoustico-articulatoire des emphatiques arabes.....	121
V.1. Introduction.....	122
V.2. La détection de corrélats acoustiques pour l'emphase.....	122
V.2.1. Analyse selon la structure formantique.....	123
V.2.2. Analyse par synthèse de l'emphase.....	133
V.2.3. Analyse par la théorie quantique.....	134
V.3. La classification phonétique selon l'emphase.....	136
V.3.1. La macro-classification.....	137
V.3.2. L'identification.....	142
V.4. Conclusion.....	146
Conclusion générale et perspectives.....	148
Bibliographie.....	151

Acronymes

ACP	Analyse par Composantes Principales
API	Alphabet Phonétique International
DAP	Décodage Acoustico-Phonétique
HMM	Hidden Markov Model
iDCT	inverse Discret Cosinus Transform
LPC	Codage Prédicatif Linéaire
LVQ	Linear Vector Quantization
MFCC	Mel-Scale Frequency Cepstral Coefficients
MLP	Perceptron Multicouche (Multi Layer Perceptron)
NPC	Codage Neuro-Prédicatif (Neural Predictive Coding)
OCP	Cohabitation des Occurrences Phonétiques
PLP	Perceptual Linear Prediction
RAP	Reconnaissance Automatique de la Parole
RAP	Reconnaissance Automatique de la Parole
RBF	Radial Basic Function
SOM	Self Organised Maps
SRAP	Système de Reconnaissance Automatique de la Parole
TDNN	Time-Delay Neural Networks (Time Delay Neural Networks)
VOT	Voice Onset Time (temps d'apparition de la voix)

Liste des figures

Figure I.1.les composantes d'une phrase arabe.....7

Figure I.2 : Système phonatoire de l'être humain.....11

Figure I.3: Niveau de représentation d'un son donné de sa production à sa perception.....13

Figure I.4. La non linéarité du passage d'un paramètre de commande articulatoire à un paramètre de sortie acoustique dans le postulat de base de la Théorie Quantique (d'après Stevens(1972)).....18

Figure I.5a. Forme du conduit vocal pour /i/.....19

Figure I.5b. Les formants et leur affiliation pour /i/.....19

Figure I.5c. La région quantique pour /i/.....20

Figure I.6a. Forme du conduit vocal pour /a/.....20

Figure I.6b Les formants et leur affiliation pour /a/.....20

Figure I.6c. La région quantique pour /a/.....21

Figure I.7a. Forme du conduit vocal pour /u/.....21

Figure I.7b Les formants et leur affiliation pour /u/.....22

Figure I.8a : Images issues des observations par nasofibroscopie.
 Position1 : nasofibroscope derrière la luette.
 Position2: nasofibroscope derrière l'épiglotte. 1.
 Paroi pharyngale postérieure. 2. Aryténoïdes. 3.
 Sommet de l'épiglotte. 4. Partie postérieure de la langue. 5.
 Corde vocale. 6. Base de l'épiglotte.....26

Figure I.8b. Cavités pharyngales durant la tenue de /س s/, /ص ş/, /ت t/ et /ط t/.....26

Figure I.9. Montée de F1 et surtout chute de F2 en présence d'une emphatique dans le mot [ʃayf] (b) par opposition au mot [sœyf] (a).....27

Figure I.10. Gauche: déviation des cibles formantiques (F1/F2) des voyelles qui suivent une emphatique. Droite : Cibles formantiques (F1/F2) de quelques voyelles présentes dans la langue française. [Dugast, 1992].....28

Figure II.1. Les résonateurs vocaux.....34

Figure II.2. Les voyelles.....35

Figure II.3. Les points d'articulation.....37

Figure II.4. L'effet de la coarticulation dans les syllabes /bœ/, /dœ/, /tœ/, effet très visible dans la syllabe /bœ/ où les formants de /œ/ s'éloignent de leurs trajectoires habituelles sous l'effet du phonème /b/.....38

Figure II.5. Le pharynx et les articulateurs.....40

Figure II.6. Les points d'articulation de la longue.....40

Figure II.7. Consonnes fricatives dorsales et latérales.....44

Figure III. 1. Configuration des articulateurs pour la production des consonnes [t ت s س] non- pharyngalisées (en pointillés) et leurs variantes pharyngalisées [ط tʰ, ص sʰ et ظ ɟʰ] (traits pleins) en arabe [Ghazali, 1977a].....51

Figure III.2a. Une illustration schématique de la configuration d'étendue vocale pendant l'articulation d'une coronale arabe emphatique Ć et son équivalent non emphatique. Ce schéma est basé sur les descriptions et les illustrations dans [Al-Ani, 1970 ; Ali et Daniloff, 1972 ; Ghazali, 1977].....52

Figure III.2b. Points de vitesse minimum (nœuds N_i) et vitesse du maximum (antinœuds A_i) pour les deux premiers formants des voyelles. A_n, indique l'antinœud de formant n, alors que N_n indique le nœud de ce formant.....52

Figure III.3. Les Cinq consonnes pharyngales arabes [Delattre, 1971].....	53
Figure III.4. Modèle simplifié du conduit vocal.....	54
Figure III.5. Comparaison des systèmes vocaliques arabe et français.....	58
Figure III.6a: Triangle vocalique articulatoire de l'arabe	59
Figure III.6b. Triangle vocalique acoustique de l'arabe (F1/F2).....	59
Figure.III.7. Zones de dispersion des voyelles arabes dans le plan F/F2.....	62
Figure III.8. Représentation géométrique des traits selon McCarthy (1994).....	73
Figure III.9. Représentation géométrique des traits selon Zawaydeh (1999).....	73
Figure IV.1.Schéma général d'un système de reconnaissance de parole continu.....	81
Figure IV.2.Processus de reconnaissance de la parole dans le cas des phonèmes voisés et non voisés.....	85
Figure IV.3a. Processus de reconnaissance de la parole.....	83
Figure IV.3b. Courbe de la fonction de pondération de Hamming sur 128 points.....	84
Figure IV.4. Représentation des échantillons d'un signal vocal (en bleu) et le signal estimé par la prédiction (en rouge) avec une fenêtre de prédiction =12.....	87
Figure IV.5. Représentation des étapes d'obtention des MFCC.....	87
Figure IV.6. Diagramme de l'aire d'audition de Fletcher: la perception n'est pas linéaire d'où l'importance des échelles Mel ou Bark [Zheng et al., 1996].....	88
Figure IV.7. On remarque qu'avant 1000 Hz, la courbe est à peu près linéaire, ce qui traduit bien l'équivalence entre Hz et Mels à ces fréquences.....	89
Figure IV.8. Représentation de la matrice $N \times K$ des coefficients du banc de filtres (N : Nombre d'échantillons par frames, K nombres de filtres souhaités).....	89
Figure IV.9. Architecture du modèle NPC (Neural Predictive Coding).....	91
Figure IV.10: Les phases d'apprentissage du modèle NPC: paramétrisation et codage.....	92
Figure IV.11: Analyse du signal de parole par le modèle NPC.....	93
Figure IV.12a : (A) représentation des échantillons d'un signal vocal (en noire) et le signal estimé par la prédiction (en bleu) avec (fenêtre de prédiction =2). (B) l'erreur moyenne en fonction du nombre d'itération.....	93
Figure. IV.12b : (A) représentation des échantillons d'un signal vocal (en noire) et le signal estimé par la prédiction (en bleu) avec (fenêtre de prédiction =20).(B) l'erreur moyenne en fonction du nombre d'itération.....	93
Figure IV.13. Calcul des coefficients NPC.....	95
Figure IV.14. Minimisation de l'erreur de classification . appliquée à la transformation de caractéristiques.....	96
Figure IV.14. Schéma d'un filtre Gamma.....	105
Figure IV. 14a. Architecture d'un neurone gamma.....	105
Figure IV. 14b. Architecture d'un réseau Gamma.....	105
Figure IV. 15. Schéma général d'un module de DAP.....	107
Figure IV.17. Les courbes d'énergie des différentes macro-classes.....	109
Figure IV.18. Les deux spectres original et lissé superposés du 1er segment.....	111
Figure IV.19a. Illustration du spectrogramme FFT à bande étroite.....	111
Figure IV.19b. Illustration du spectrogramme LPC à bande étroite.....	111
Figure IV.20.Algorithme de recherche des noyaux vocaliques.....	112
Figure IV.21a. La répartition des pôles dans le cercle unité par la méthode de factorisation.....	113
Figure IV.21b Les formants par la méthode de Mc-Candless.....	113
Figure IV.22. Architecture générale du logiciel.....	117
Figure IV.23. Spectrogramme de /s, s., t, t., d, d./, marqué, en haut par un burst et en bas par le voisement caractéristique de consonnes sonores.....	119

Figure V.1. Le changement des paramètres acoustiques de la transition phonétique /s/->/oe/ en fonction des variations des paramètres articulatoires.....	122
Figure V.2. L'extraction des vecteurs acoustiques à partir du signal avec étiquettes.....	123
Figure V.3. Les premiers formants (F1, F2) pour les emphatiques ta, ta et la, la respectivement.	123
Figure V.4. Variation des formants pour des consonnes non emphatiques et emphatiques respectivement.....	125
Figure V.5a. Les transitions formantiques entre consonnes (non) emphatiques en contexte vocalique court.....	130
Figure V.5b. Les transitions formantiques entre consonnes (non) emphatiques en contexte vocalique long.....	130
Figure V.6a. Les écarts moyennes entre formants /F2-F1/ en abscisse et /F4-F3/ en ordonnée entre consonnes (non) emphatiques en contexte vocalique pour sujet masculin.....	131
Figure V.6b. Les écarts moyennes entre formants /F2-F1/ en abscisse et /F4-F3/ en ordonnée entre consonnes (non) emphatiques en contexte vocalique pour sujet féminin.....	131
Figure V.7a. Les formants et leur affiliation au niveau de la région quantique pour /a/.....	135
Figure V.7b. Les formants et leur affiliation au niveau de la région quantique pour /u/.....	135
Figure V.7c. Les formants et leur affiliation au niveau de la région quantique pour /i/.....	135
Figure V.7d. l'emphatisation dans l'espace des voyelles arabes.....	136
Figure V.8a. Décodage acoustico-phonétique avec 3 classificateurs neuronaux MLP, LVQ et réseau Gamma à base de traits acoustiques.....	137
Figure V.8b. Le codeur NPC du trait emphatique.....	139
Figure V. 8c. Système de reconnaissance des voyelles arabe.....	139
Figure V.8d. Les eqm des 5 codeurs NPC pour les voyelles arabes à 3000 itérations de la phase de paramétrisation.....	139
Figure V.9. Les eqm des 7 codeurs NPC pour les consonnes arabes à 4500 itérations de la phase de paramétrisation.....	141
Figure V.10. l'erreur quadratique moyenne eqm par classe phonétique en arabe.....	145

Liste des tables

Table I.1. Les consonnes emphatiques de la langue arabe et leurs variantes non emphatiques.....	5
Table I.2. Classification des phonèmes arabes selon le mode et le lieu d'articulation.....	9
Table II.1. Système consonantique de l'arabe classique.....	41
Table II.2. Les six consonnes emphatiques de l'arabe.....	42
Table III.1. Un résumé selon les attributs phonétiques des consonnes arrières arabes emphatiques, uvulaires, pharyngales et laryngales [bin-Muqbil,2006].....	57
Table.III.2. Exemples de <i>ṭiḏhar</i> tirés du Tajweed.....	70
Table III.3. Exemples de <i>ṭixfaa</i> tirés du Tajweed.....	71
Table III.4. Exemples de métathèses dans l'arabe bédouin Hijazi.....	71
Table III.5. L'emplacement des emphatiques arabes par rapport à la carte des phonèmes arabes.....	72
Table III.6. Classement des consonnes pharyngalo-emphatiques arabes selon les deux lieux d'articulation de la langue.....	77
Table IV.1. Unité de base de la reconnaissance.....	108
Table. V.1. Les contextes des réalisations emphatiques et non emphatiques de l dans le mot <i>Allāh</i>	126
Table V.2. Valeurs en Hz des quatre premiers formants des voyelles arabes, (corpus de 14 hommes et 6 femmes).Med: médiane - Sig: écart-type - Rap: rapport de formants féminins sur formants masculins.....	126
Table V.3a. Valeurs en Hz des quatre premiers formants de /d/ et /d./. Med: médiane - Sig: écart-type-.....	127
Table V.3b. Valeurs en Hz des quatre premiers formants de /t/ et /t./. Med: médiane - Sig: écart-type -.....	127
TableV.3c.Valeurs en Hz des quatre premiers formants de /z/ et /z./. Med: médiane - Sig: écart-type -.....	127
TableV.3d. Valeurs en Hz des quatre premiers formants de /s/ et /s./. Med: médiane - Sig: écart-type -.....	128
TableV.3e. Valeurs en Hz des quatre premiers formants de /l/ et /l./. Med: médiane - Sig: écart-type-.....	128
Table V.3f. Valeurs en Hz des quatre premiers formants de /r/ et /r./. Med: médiane - Sig: écart-type-.....	128
Table V.4a. Valeurs en Hz des rapprochements entre paires de formants pour le cas de l'emphase.....	129
Table V.4b. Représentation de l'accentuation des pentes des transitions entre formants non emphatiques et emphatiques.....	129
Table V.5. Portée de l'emphase: la région emphatique est délimitée par l' exclusion d'un resserrement faible ou d'un recouvrement nul.....	132
Table V.6a. Représentation des voyelles arabes courtes en fonction des traits distinctifs.....	138
Table V.6b. Taux de classification pour les voyelles arabes.....	140
Table V.7a. Représentation des consonnes arabes en fonction des traits distinctifs.....	141
Table V.8. Taux de classification pour les consonnes arabes.....	142
Table V.9. L'identification des voyelles selon les traits de timbre et de la durée par réseau Gamma.....	142
Table V.10. Taux d'identification des plosives selon l'emphase.....	143
Table V.11. Taux d'identification des fricatives selon l'emphase.....	143
Table V.12. Taux d'identification des sonorantes selon l'emphase.....	144
Table V.13. La macro-classification.....	144