

**CENTRE de
RECHERCHE en
INFORMATIQUE de
NANCY**

**Campus Scientifique
Boîte Postale 239
54506 Vandœuvre-les-Nancy Cedex**

Téléphone : 83.91.20.00

**ETUDE PHONETIQUE DE
L'ARABE STANDARD**

Mahieddine DJOUDI

CRIN 89-R-057

20/04/89

ETUDE PHONETIQUE DE L'ARABE STANDARD

Mahieddine DJOUDI

CRIN — INRIA Lorraine

Campus Scientifique

B.P. 239

54506 Vandœuvre-lès-Nancy CEDEX

France

Mots clés : Arabe standard, Reconnaissance de la parole, Phonétique, Acoustique Corpus, Spectrogramme, Voyelles, Consonnes.

Résumé :

Dans le cadre de la mise en œuvre du système SAPHA, de décodage acoustico-phonétique de l'Arabe, nous présentons dans ce rapport une étude phonétique de l'Arabe standard basée sur des visions de spectrogrammes de 50 phrases phonétiquement équilibrées prononcées par 4 locuteurs. L'étude comporte une analyse acoustique contextuelle des voyelles et des consonnes et un examen de quelques aspects phonologiques de l'Arabe standard. Cette étude nous a permis, en particulier d'acquérir une grande base de connaissance nécessaire pour la réalisation du système SAPHA.

1 INTRODUCTION

L'Arabe est une langue sémitique, historiquement formée de deux branches : l'Arabe du sud et l'Arabe du nord. La branche sud est née au sud de l'Arabie, elle inclut entre autres les langues sabaienne et himyarite. Elle est similaire à l'Arabe du nord aussi bien dans ses formes grammaticales que dans son vocabulaire. L'Arabe du sud devient une langue morte après la chute de l'empire himyarite au 6^{ème} siècle après J.C. Depuis ce temps, la branche nordique est devenue la langue sémitique la plus importante. Le plus ancien texte manifestant l'existence de l'Arabe a été trouvé à Annemara près de Damas. Il date de l'an 326 après J.C. et orne le tombeau d'un roi arabe, mais l'écriture arabe apparaît pour la première fois dans deux inscriptions, celle de Zabad près d'Alep (en l'an 512) et celle de Hauran au sud de Damas (vers 568 après J.C.). Pendant la période préislamique /Djahiliya/, la langue arabe était développée dans une très riche langue poétique et devient la langue commune des médias de l'Arabie préislamique.

La diffusion du Coran par l'essor de l'Islam a entraîné la langue dans une extension telle que n'en a connue aucune autre langue du monde. Elle a véhiculé la civilisation musulmane sur l'immense espace qu'elle a conquis.

L'étude de la langue par les philologues et les grammairiens arabes répondait à un besoin pressant, d'une part la récitation du Coran n'admettait pas la moindre faute de prononciation ni le moindre doute sur son interprétation et d'autre part, la conversion à l'Islam de population non arabes exigeait l'enseignement de la langue aux nouveaux adhérents.

La théorie de l'arabe est entièrement contenue dans le remarquable et impressionnant travail du grammairien du 8^{ème} siècle, il s'agit du /Alkitaab/ (le livre) de Sibawayh [Sibawayh]. Mais le plus grand des linguistes est incontestablement Al khalil Ibn Ahmed, l'enseignant de Sibawayh.

La fortune de l'écriture arabe a dépassé celle de la langue littéraire, puisqu'elle sert à noter diverses autres langues telle que le turc et le persan. Cette écriture s'est développée au 7^{ème} siècle en une cursive rapide où les lettres sont généralement jointes. C'est une écriture consonantique qui se lit horizontalement de droite à gauche.

L'Arabe standard contemporain est une continuité linguistique de l'Arabe classique. Elle est la langue commune à plus de 100 millions d'arabophones, et une langue liturgique de l'Islam à près d'un milliard de musulmans.

Elle est aussi la langue de la science, de l'enseignement et de la littérature, celle du théâtre, de la presse, de la radio et de la télévision. En dépit de l'acceptation quasi-unanime de l'Arabe standard contemporain et son adoption générale comme le moyen commun de communication à travers le monde arabe, il n'est pas la langue du quotidien du peuple. Syriens, égyptiens, algériens entre autres, trouvent qu'il est plus facile et plus convenu de se parler dans leur propre et particulier dialecte. Les différences dans la phonologie, la morphologie et la syntaxe de ses dialectes sont souvent si grandes qu'une communication verbale entre deux illettrés de deux pays différents est très difficile sinon impossible. Par conséquent une connaissance de l'arabe standard contemporain devient impérative lorsque les locuteurs des différentes régions dialectales sont obligés à se communiquer.

Dans le cadre de nos recherches sur la reconnaissance de la parole arabe, nous présentons dans ce qui suit une étude phonétique et articulatoire de l'Arabe moderne standard.

2 Le corpus DJOUMA

2.1 Introduction

Pour le besoin de l'étude phonétique de l'Arabe moderne standard, les phonéticiens et les informaticiens ont été contraint à la réalisation de corpus. Ces corpus étaient dans leur grande majorité des corpus de mots ou de type CV et CVC et ne répondaient pas donc au critère de prise en compte réelle du contexte de production des phonèmes et du phénomène de coarticulation. Nous avons pensé qu'il est nécessaire d'avoir dans un premier temps un corpus de phrases lues. Un corpus que nous avons baptisé DJOUMA /DJOUmal MAqroua/ qui veut dire en Arabe phrases lues.

2.2 Constitution du corpus

En l'absence de phrases arabes phonétiquement équilibrées dans les revues des phonéticiens comme c'est le cas du français [Comescure 81], nous avons entamé une recherche dans les journaux, les magazines et les livres arabes pour trouver des phrases qui peuvent faire l'objet de corpus. Dès le départ nous avons fixé trois critères.

1. La simplicité de la forme syntaxique de la phrase.
2. La diversité dans la forme et le contenu des phrases.
3. La longueur raisonnable de la phrase.

En se basant sur ces critères, nous sommes arrivés à construire 78 phrases. Par la suite, nous avons effectué une sorte de sondage auprès de trois personnes qui ont lus l'ensemble des phrases. Notre but est d'éliminer les phrases difficiles à comprendre ou à prononcer et corriger éventuellement les autres phrases. Après cette phase, il reste 50 phrases.

Après que les phrases ont été construites, nous les avons entièrement vocalisées de façon que la prononciation soit exacte selon les règles grammaticales de l'Arabe standard, en suite nous avons répartis ces phrases en 5 séries de 10 phrases chacune en essayant d'équilibrer phonétiquement chaque série. Voici par ailleurs la répartition des consonnes et des voyelles dans le corpus.

Série	Nb. consonnes	Nb. voyelles	Nb. total
A	159	131	290
B	172	134	306
C	168	135	303
D	169	138	307
E	166	138	304
Total	834	676	1510

2.3 Enregistrement

L'enregistrement s'est effectué dans un milieu calme (au bureau après 18 heures) sur une cassette chrome.

Chaque locuteur a prononcé l'ensemble des 50 phrases par séries de 10 phrases chacune. Un temps d'environ deux secondes sépare la prononciation de deux phrases consécutives.

Les phrases ont été échantillonnées à une fréquence de 16 kHz et stockées sur disque magnétique chacune dans un fichier dont le nom est un code alphanumérique de la forme ANN.AA ou ANN : AA où

- A désigne la série (A, B, C, D ou E).
- NN est le numéro de la phrase (ex 08)
- AA sont les initiales du locuteur (ex DM).
- Le point "." veut dire masculin et les deux points ":" féminin.

Pour pouvoir mener une analyse spectrographique et mesurer les performances de nos algorithmes de reconnaissance, nous avons développés des outils informatiques d'affichage de spectrogramme et d'étiquetage manuel.

3 Structure acoustique des voyelles

3.1 Le timbre

L'Arabe standard comporte trois voyelles /Harakaat/ qui s'opposent phonologiquement par le timbre : /a/ : /fatHa/, /u/ : /d.amma/ et /i/ : /kas.ra/. Ces trois phonèmes forment un système triangulaire à 3 classes de localisation :

1. Antérieure /i/.
2. Postérieure /u/.

3. Centrale /a/.

Et à 2 degrés d'aperture

1. fermé /i/ et /u/.
2. ouvert /a/.

3.2 La quantité

Le système vocalique comprend deux quantités phonologiques pour chaque timbre. À chaque voyelle brève /a/, /u/ et /i/ s'oppose respectivement une voyelle longue /mad/ /aa/, /uu/ et /ii/.

Les voyelles longues sont toujours considérées comme des monophongues et non pas des diphtongues même si dans la tradition des grammairiens arabes, une voyelle longue est ressentie comme deux voyelles brèves.

En Arabe, la durée des voyelles et l'opposition temporelle brève longue sont fondamentales aux niveaux grammatical et sémantique.

La durée relative d'une voyelle dépend de son environnement et de la vitesse d'élocution. Nous donnons dans le tableau suivant les valeurs moyennes de la durée en ms des voyelles.

Voyelle	durée
a	75
u	65
i	70
aa	160
uu	140
ii	150

Toutefois, en position finale, les voyelles brèves sont caractérisées par une durée plus grande et les voyelles longues par une durée moins importante.

L'étude de l'organisation temporelle de la quantité vocalique ne peut se limiter à la mesure de la durée de la phase de manifestation la plus caractéristique de la voyelle, elle nécessite la prise en compte des manifestations des consonnes adjacentes.

3.3 La coarticulation

Le contexte joue un rôle très important et la voyelle varie beaucoup avec le lieu d'articulation de la consonne adjacente, en particulier, les études physiologiques et les observations spectrographiques attestent une différence spectrale apparenté à l'opposition emphatique non emphatique. Les voyelles au contact d'une consonne emphatique /mutbaqa/ sont caractérisées par une augmentation de l'aperture et forte constriction dans la partie postérieure du conduit buccal. Ceci conduit généralement à un soulèvement du formant F1 et l'abaissement de F2 mais il semble que ce type d'effet n'est pas une caractéristique des seules emphatiques : Les consonnes proprement pharyngales agissent de la même façon sur la structure formantique des voyelles en contact. Nous donnons dans le tableau suivant les valeurs moyennes des formants des voyelles dans différents contexte.

Contexte	Formant	a	i	u	aa	ii	uu
Bilabial b	F1	600	295	290	585	289	305
	F2	1585	1920	850	1200	2200	775
	F3	2400	2650	2175	2585	2700	2370
	F4	3513	3413	3059	3510	3360	3016
Dental t	F1	579	372	312	552	290	286
	F2	1255	1680	921	1393	2008	881
	F3	2482	2723	2216	2423	2882	2338
	F4	3312	3522	3216	3370	3479	3150
Platal ʃ	F1	615	340	320	609	218	2308
	F2	1450	2100	790	1405	2140	800
	F3	2411	2730	2420	2438	2753	2456
	F4	3510	3375	3116	3487	3401	3162
Vélaire k	F1	639	332	312	612	320	346
	F2	1345	1720	891	1403	2098	831
	F3	3312	3522	3216	3370	3479	3150
	F4	3312	3522	3216	3370	3479	3150
Emphatique t	F1	650	340	320	620	340	350
	F2	1200	1600	850	1200	2050	810
	F3	2600	2700	2275	2650	2750	2335
	F4	3434	3580	3146	3562	3430	3110
Pharyngal h	F1	625	342	324	615	331	340
	F2	1280	1660	810	1300	2100	810
	F3	2630	2700	2289	2673	2700	2309
	F4	3447	3597	3150	3544	3412	3127
Glottal ?	F1	645	340	313	627	340	350
	F2	1221	1644	842	1239	2037	814
	F3	2608	2695	2256	2664	2747	2328
	F4	3402	3578	3152	3550	3419	3100

Nous tenons à préciser que ces valeurs ont été calculées comme étant les valeurs moyennes des formants dans les zones stables des voyelles du corpus et qu'au niveau de la transition, les valeurs des formants sont très dépendantes du type de la consonne adjacente.

4 Structure acoustique des consonnes

Le système consonantique de l'Arabe standard est généralement décrit comme étant composé de 28 consonnes /Huruuf/ à chacune d'elles correspond un phonème particulier. Nous les présentons dans les deux tableaux suivants selon leurs modes d'articulation puis selon leurs lieux d'articulation. [Salah].

Le système tire son originalité sur la présence des consonnes glottales et pharyngales et surtout des consonnes emphatiques que nous décrivons dans les sections suivantes, le reste des consonnes est décrit ci-dessous [Ghazali 87a].

Transcription API	t	k	ʔ	b	d	q	ɬ	ɗ	z	f	θ	s	ʃ	ʁ	h	ʕ	Z	ɣ	ɛ	h	ʕ	ʕ	m	n	l	r	w	y
Equivalent Arabe	ت	ك	ء	ب	د	ق	ط	ظ	ج	ض	ث	س	ش	خ	ح	ذ	ز	ع	غ	هـ	حـ	م	ن	ل	ر	و	ي	
Code informatique	t	k	A	b	d	q	ɬ	ɗ	J	f	T	s	c	X	H	D	Z	G	E	h	s	D	m	n	l	r	w	y
Plosive شديد	+	+	+	+	+	+	+	+																				
Fricative رخو											+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+						
Nasale أغن																							+	+				
Vibrant منكر																									+			
Latéral منحرف																										+		
Semi voyelle لين																										+	+	
Sourde مهموس	+	+	+			+	+				+	+	+	+	+						+							
Sonore مجهور				+	+			+	+						+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+
Non emphatique منفتح	+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+
Emphatique مطبق						+	+														+	+						

FIG. 1: Les consonnes arabes et leurs modes d'articulation

Transcription API	t	k	ʔ	b	d	q	ṭ	ḍ	z	f	θ	s	ʃ	ʁ	h	ħ	Z	ʕ	ɣ	ε	h	ṣ	ʒ̣	m	n	l	r	w	y
Equivalent Arabe	ت	ك	ء	ب	د	ق	ط	ظ	ج	ف	ث	س	ش	ح	خ	ح	ذ	ز	غ	ع	ه	ظ	ص	م	ن	ل	ر	و	ي
Code informatique	t	k	A	b	d	q	ṭ	ḍ	J	f	T	s	c	X	H	D	Z	G	E	h	ṣ	Ḍ	m	n	l	r	w	y	
Bilabial شفوي				+																			+						+
Labiodental شفوي سني										+																			
Dental سني											+						+						+						
Alvéodental سنخي سني	+			+		+	+				+						+					+		+					
Alvéolaire سنخي																										+	+		
Palatal حنكي									+			+																	+
Vélaire لهوي														+															
Uvulaire لهوي							+												+										
Pharyngal حلقى															+					+									
Glottal حنجري			+																		+								

FIG. 2 : Les consonnes arabes et leurs lieux d'articulation

4.1 Les plosives

Physiologiquement, une plosive /ʃadiid/ est caractérisée par :

1. la formation d'une fermeture à l'intérieur de la cavité vocale par un ou plusieurs articulateurs à l'endroit où le conduit de pression est bloqué et qui apparaît comme un vide sur le spectrogramme.
2. la brusque libération de cette pression qui apparaît comme une barre d'explosion ou burst sur le spectrogramme.

/t/ : /ta/ est une plosive aspirante alvéodentale non voisée. Le /t/ apparaît sur le spectrogramme comme un burst de durée relative de 20 à 40 msec, plus long avec les voyelles longues. Le burst du /t/ est sous la forme d'une barre verticale suivi par un intervalle de faible bruit. La concentration du burst, avec /a/ et /aa/ est vers 4500 Hz. Avec /u/ et /uu/, le burst est plus long et est concentré vers 3800-4300 Hz. Avec /i/ et /ii/, le burst apparaît plutôt comme une fricative de courte durée concentrée à une fréquence d'environ 5000 Hz. Devant /t/, les transitions des voyelles suivantes sont en général montantes pour le formant F1, et descendantes pour F2 et F3. Les débuts de F2 du /a/ sont approximativement à 1500 Hz et pour le /aa/ ils sont légèrement plus bas autour de 1300 Hz. Les débuts de F2 du /i/ et /ii/ devant /t/ se situent vers 2000 Hz. Les débuts de F2 du /u/ et /uu/ devant /t/ montent brusquement à 1100 Hz.

/k/ : **/kaf/** est une plosive postpalatale non voisée et aspirante. Le phonème possède un allophone palatalisé **/k'/** qui se produit devant **/i/** et **/ii/**. Le **/k/** apparaît sur le spectrogramme comme un burst sous forme d'une barre verticale suivi d'un petit bruit de friction, le tout d'une durée 60-80 msec. et parfois le burst est double. Avec **/a/** et **/aa/**, la concentration du burst est entre 2300 et 2500 Hz, elle est vers 2800 Hz avec **/i/** et **/ii/** et vers 2100 Hz avec **/u/** et **/uu/**. Le **/k/** influe sur les voyelles suivantes en augmentant sensiblement le formant F2 et en abaissant F3, ce qui donne une transition de F2 descendante et celle de F3 montante. Les formants de **/u/** et **/uu/** semblent ne pas être affectés.

/b/ : **/ba/** est décrit comme une occlusive bilabiale voisée non aspirante mais en réalité, il est en variation libre c'est-à-dire qu'il peut être voisé ou non. Le voisement du **/b/** apparaît sur le spectrogramme, en basse fréquence vers 50 Hz, avec une durée de 60-110 msec. Le **/b/** influe sur les débuts du deuxième formant du **/i/** et **/ii/** par leur abaissement à 1600-1700 Hz. Les débuts du 2^{ème} formant du **/a/** et **/aa/** sont légèrement affectés et ceux du **/u/** et **/uu/** ne le sont pas du tout.

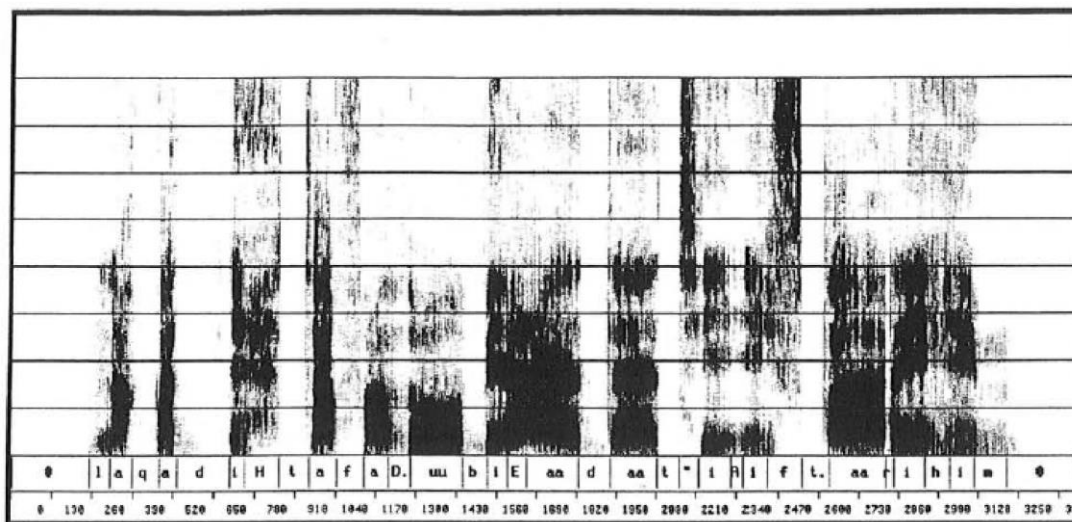


FIG. 3: Spectrogramme d'une phrase contenant des plosives

/d/ : **/dal/** est une plosive alvéodentale voisée non aspirante de durée de 80-100 msec. Il apparaît sur le spectrogramme comme un **/t/** excepté pour le voisement. De même l'influence du **/d/** sur les voyelles voisines est semblable à celle du **/t/**.

/q/ : **/qaf/** est une plosive uvulaire non voisée et non aspirante qui apparaît comme un burst important qui commence en basses fréquences et qui monte à 3000 Hz. Celui-ci est suivi d'un petit intervalle de silence de durée moyenne de 30-40 msec sans bruit, ce qui indique l'absence d'aspiration. Le **/q/** exerce une influence sur les débuts de F2 du **/i/** et **/ii/** en les abaissant à 1600 Hz, par contre les débuts de F1 sont légèrement relevés sous l'influence du **/q/**. Les débuts de F2 du **/u/** et **/uu/** sont relevés à 900 Hz. Le **/q/** produit un début de F2 du **/a/** très bas, autour de 1200 Hz, celui du **/aa/** est à environ 1150 Hz. En moyenne, la durée relative du silence du **/q/** est d'environ 130 msec. Par son caractère vélaire, le **/q/** est considéré par certains phonéticiens comme étant une consonne emphatique dont l'homologue serait le **/k/**.

4.2 Les fricatives

Les fricatives **/rixw/** sont produites dans la cavité vocale par une constriction étroite qui rend la circulation d'air turbulente. Acoustiquement, les fricatives non voisées possèdent en général un haut bruit aléatoire et les fricatives voisées possèdent des structures de résonance faibles qui apparaissent comme des ombres de formants faibles avec un léger bruit.

/z/ : **/zim/** est un phonème voisé alvéopalatal et affriqué qui peut être non voisé en position finale. Phonétiquement, le **/z/** est une combinaison de deux phones **[d]** et **[z]**. Cette combinaison plosive-fricative apparaît sur le spectrogramme comme une plosive suivie d'une fricative voisée. Initialement, le **[d]** peut avoir ou non un burst et il est immédiatement suivi par un bruit aléatoire en

hautes fréquences à partir de 2200 Hz avec une continuation de la barre de voisement du [d]. Le plus souvent, avec /a/ et /aa/, le bruit est tellement court qu'il apparaît sur le spectrogramme comme un burst. Le [z] semble avoir une influence immédiate sur /u/ et /uu/ qui est indiquée par la transition montante des débuts de F2 vers 1000 Hz. Son effet sur les autres voyelles, /z/ a tendance à abaisser le formant F2. La durée du /z/ est de 100-160 msec. Le [d] tient généralement la moitié de cette durée.

/f/ : /fa/ est une fricative labiodentale non voisée qui apparaît comme un faible bruit aléatoire, sa durée varie entre 80 et 120 msec. Le bruit commence vers 3000 Hz avec /a/ et /aa/, vers 3200 Hz avec /i/ et /ii/ et vers 3500 Hz avec /u/ et /uu/ et s'étale en hautes fréquences.

/θ/ : /tha/ est une fricative interdentale non voisée, qui apparaît comme un bruit aléatoire plus fort que le /f/ et de durée de 80 à 120 msec.

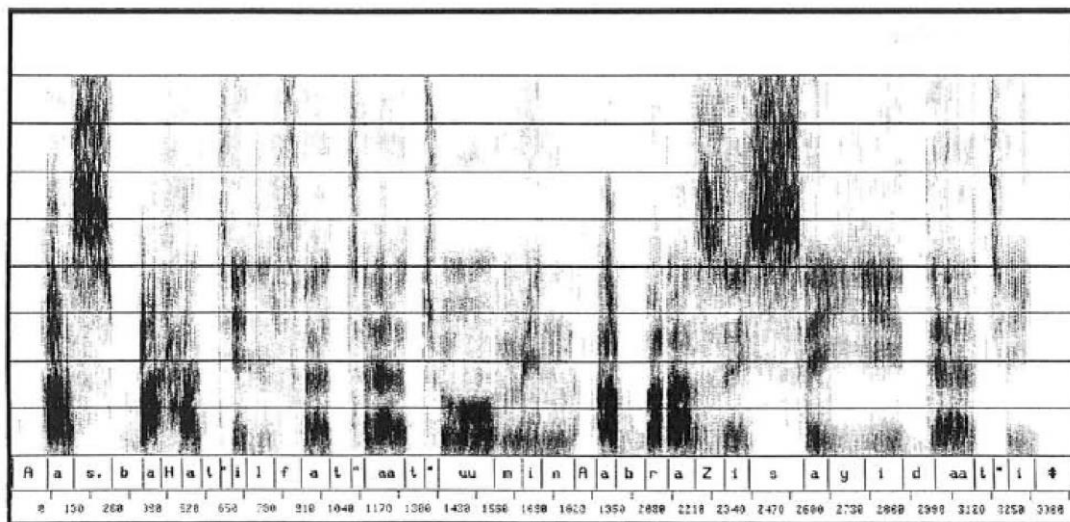


FIG. 4: Spectrogramme d'une phrase contenant des fricatives

/s/ : /sin/ est une fricative sifflante dentale non voisée qui elle aussi apparaît comme un bruit aléatoire de durée 100-170 msec, en hautes fréquences. Avec /a/ et /aa/, le bruit commence à partir de 2700 Hz, avec /u/ et /uu/ à partir de 2300 Hz et à partir de 2800 Hz avec /i/ et /ii/. Les débuts de F2 du /i/ et /ii/ avec /s/ sont légèrement abaissés à 2000-2100 Hz. Pour le /u/ et /uu/ des transitions aigues des débuts de F2 montent à 1000 Hz. Les débuts du /a/ et /aa/ semblent ne pas être affectés avec le /s/ ceci s'explique peut être par le fait que F2 du /s/, du /a/ et du /aa/ sont dans la même région (1300-1500 Hz).

/ʃ/ : /chin/ est une fricative chuintante palatale non voisée qui apparaît comme un bruit aléatoire de durée 100-150 msec, en hautes fréquences. Le bruit commence vers 2000 Hz avec /a/ et /aa/, vers 1900 Hz avec /u/ et /uu/ et vers 1700 Hz avec /i/ et /ii/. Le /ʃ/ possède un bruit aléatoire plus haut en fréquence que la plupart des autres fricatives. Son influence sur les voyelles voisines est presque identique à celle du /s/.

/χ/ : /kha/ est une fricative vélaire non voisée qui apparaît comme un bruit aléatoire regroupé sous forme de structure de formant dans la bande 1000-5000 avec /a/ et /aa/, dans la bande 700-4800 avec /u/ et /uu/ et dans la bande 1900-4900 Hz avec /i/ et /ii/. La durée relative du /χ/ est de 100-160 msec. Avec /χ/, les débuts de F2 du /a/ et /aa/ sont à 1500 Hz, les débuts de F2 du /i/ et /ii/ sont abaissés à 1800-1900 Hz, ceux du /u/ et /uu/ légèrement soulevés à 1000 Hz.

/ð/ : /ðal/ est décrit comme une fricative interdentale voisée, de durée relative 100-160 msec qui possède une résonance apparaissant comme des formants faibles : F1 vers 275 Hz, F2 vers 1500 Hz et F3 à 2350 Hz. Dans l'espace interformantique, il y a un certain bruit faible. Le /ð/ influe sur les débuts de F2 du /i/ et /ii/ en les abaissant vers 1900 Hz et semble influencer aussi sur les débuts de F1

en les soulevant légèrement. Les débuts de F2 du /u/ et /uu/ avec /ð/ sont vers 1000 Hz, ceux du /a/ vers 1500 Hz et ceux du /aa/ à 1400 Hz.

/z/ : /zi/ est une fricative sifflante dorsoalvéolaire voisée qui semble avoir trois faibles structures de formant F1 vers 250 Hz, F2 à 1600 Hz et F3 à 2400 Hz. En hautes fréquences, /z/ contient un bruit aléatoire à partir de 3000 Hz avec une durée relative de 100-160 msec. Le /z/ influe sur les débuts de F2 du /u/ et /uu/ en les soulevant à 950-1000 Hz. Avec /z/ les débuts de F2 du /i/ et /ii/ sont légèrement abaissés à 2000 Hz et ceux du /a/ et /aa/ à 1500 Hz. F3 semble dans tous les cas montant.

/ɣ/ : /Ghayn/ est décrit comme une fricative grasseyée voisée qui possède deux allophones, l'un est uvulaire près de /a/, /aa/, /u/ et /uu/ et l'autre vélaire près du /i/ et /ii/. Sur le spectrogramme, /ɣ/ apparaît comme un bruit à structure de formants étalé en basses fréquences et dont la limite supérieure se situe vers 6400 Hz avec /a/ et /aa/, vers 6000 avec /u/ et /uu/ et vers 7000 Hz avec /i/ et /ii/. La durée du /ɣ/ est de l'ordre de 100-1600 msec. Avec /ɣ/, les débuts de F2 du /i/ et /ii/ sont abaissés à 1900 Hz, ceux du /u/ et /uu/ sont légèrement soulevés à 850 Hz, ceux du /a/ sont à 1300 Hz et ceux du /aa/ sont à 1250 Hz.

4.3 Les nasales

La nasalité est définie en terme physiologique comme étant la formation d'une ou plusieurs fermetures orales et le passage de l'air à travers le nez. Au cours de la production des nasales les 2 cavités orale et nasale sont donc normalement utilisées.

En Arabe, il y a 2 consonnes nasales /Ghounna/ le /m/ et le /n/ décrites comme suit :

/m/ : /mim/ est une nasale bilabiale voisée de durée de 70-90 msec. Elle possède des résonances faibles qui apparaissent comme des formants F1 à 250 Hz, F2 à 1000 Hz et F3 à 2700 Hz et parfois, d'autres résonances plus faibles juste au dessus de F1. Le /m/ exerce une influence sur les voyelles antérieures fermées /i/ et /ii/ en abaissant les débuts du 2^{ème} formant vers 1850 Hz. Sur les voyelles centrales /a/ et /aa/, l'influence du /m/ se manifeste par un léger abaissement des débuts du second formant, par contre aucune influence sur les voyelles postérieures fermées /u/ et /uu/. En gros, le /m/ semble être similaire au /b/, excepté pour la qualité nasale caractérisée par un modèle de formants nasaux.

/n/ : /nun/ est une nasale alvéodentale voisée de durée 80 à 100 msec. Comme le /m/, le /n/ possède des résonances faibles apparaissant comme des formants F1 à 250 Hz, F2 à 1500-1600 Hz et F3 vers 2800-3000 Hz. Le /n/ relève les débuts de F2 du /u/ et /uu/ à 1300-1400 Hz, abaisse légèrement ceux de /i/ et /ii/ à 1950 Hz et n'influe pas du tout sur /a/ et /aa/, ceci est dû au fait que le /n/ possède une chaîne de fréquences similaire à celle de /a/ et /aa/.

4.4 Le vibrant

/r/ : /ra/ est un vibrant /munkarar/ apicoalvéolaire lingual voisé qui comporte une vibration accentuée de la pointe de la langue. La durée du /r/ est de l'ordre de 80-100 msec, il possède des structures de formants qui sont interrompus par des intervalles verticaux très courts de silence de l'ordre de 10 msec qui peuvent être interprétés physiologiquement comme le résultat de la frappe du bout de la langue contre le palais. F1 du /r/ est de l'ordre de 260 Hz. Avec /i/, /ii/, /u/ et /uu/ F2 est d'environ 1400 Hz, avec /a/ et /aa/, il est autour de 1200 Hz. Le /r/ exerce une influence sur /i/ et /ii/ en abaissant les débuts de F2 de 1250 Hz à 1700 Hz, les débuts de F3 sont aussi abaissés. Les débuts de F2 du /u/ et /uu/ sont soulevés à 1050 Hz. Enfin F2 du /a/ est environ à 1300 Hz et celui du /aa/ autour de 1200 Hz.

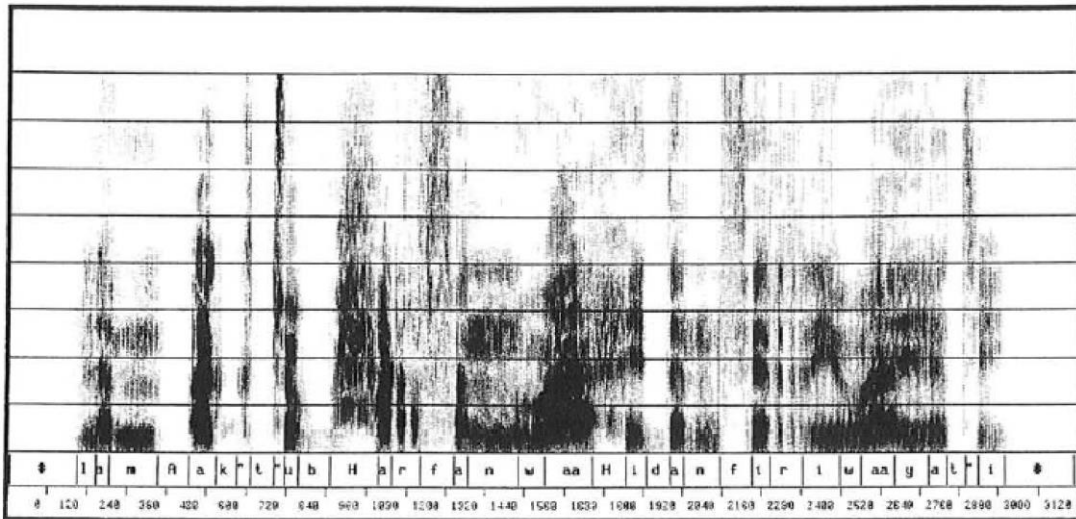


FIG. 5: Spectrogramme d'une phrase contenant des sonnantes

4.5 Le latéral

/l/ : **/lam/** est un phonème lingual qui possède deux allophones : le plus commun de ces allophones est une latérale (/munḥarif/) dentale voisée de durée 80-120 msec, qui possède des structures de formants similaires à celles des voyelles F1 à 300 Hz, F2 à 1500-1600 Hz et F3 à 2400-2500 Hz. Le /l/ abaisse les débuts de F2 du /i/ et /ii/ à 1850 Hz, soulève ceux de /u/ et /uu/ vers 1300 Hz ; aucune influence remarquable n'est observée sur /a/ et /aa/. L'autre allophone est une consonne emphatique latérale postdentale /l/ qui se produit dans un environnement extrêmement limité et seulement devant /a/ et /aa/. Dans le langage littéraire, on le trouve dans le mot /Allah/ (Dieu) et ses dérivés mais dans les dialectes il est plus commun. Le contraste phonémique entre /l/ et /l/ est donné par la paire minimale :

/wallah/ : "jurer par Dieu" et /wallah/ : "il l'a nommé wali"

4.6 Les semivoyelles

/w/ : **/waw/** est une semivoyelle bilabiale de durée 80-100 msec. Il possède des structures de formants similaires à celles du /u/ et /uu/ avec F1 à 350 Hz, F2 à 950 Hz et F3 à 2100 Hz. Les débuts et les fins de F2 de /w/ glissent vers les phones précédent et suivant.

/j/ : **/ya/** est une semivoyelle palatale de durée 80-100 msec. Le /j/ possède des formants similaires à ceux du /i/ et /ii/ avec F1 à 275 Hz, F2 à 1900 Hz et F3 à 2650 Hz. Généralement, les débuts et les fins de /j/ glissent vers les phones précédent et suivant.

5 Les consonnes glottales et pharyngales

5.1 Introduction

Les consonnes glottales et pharyngales se distinguent des autres consonnes par le fait qu'elles ont des lieux d'articulations verticaux. Un lieu d'articulation vertical est défini comme un ensemble de localisations anatomiques qui vont du palais jusqu'à la glotte inclusivement par opposition au lieu horizontal où les emplacements sont entre les lèvres et la lèvre.

Ces consonnes sont plus difficiles à étudier parce que leurs points et leurs manières d'articulation sont dans la région laryngale et pharyngale qui ne sont pas facilement accessibles. [Ghazali 87b], [Ani 70].

L'Arabe comporte deux consonnes glottales /h/ et /ʔ/ et deux consonnes pharyngales /ħ/ et /ʕ/ que nous allons décrire.

5.2 Les consonnes glottales

/h/ : (ha) est décrit comme une fricative glottale non voisée de durée relative 100-160 msec qui apparaît le plus souvent comme un bruit à structure de formant et qui devient voisée en milieu intervocalique. Devant /i/ et /ii/ le bruit est concentré dans la région 4000-4700 Hz devant /u/ et /uu/ la concentration du bruit est basse en fréquence vers 4200 Hz. Quand le /h/ est devant /a/ et /aa/ la concentration du bruit est autour de 4500 Hz. Il semble que le /h/ soit instable et par conséquent les voyelles qui l'avoisinent jouent un rôle très important dans la détermination de la zone de concentration du bruit. Les débuts de F2 du /i/ et /ii/ sont abaissés à 2000 Hz, ceux du /u/ et /uu/ sont soulevés à 900 Hz, enfin le F2 du /a/ avec /h/ est à 1500 Hz et celui du /aa/ à 1400 Hz.

/ʔ/ : (hamza) est décrit comme une plosive glottale non voisée dont la structure acoustique est très dépendante du contexte de production et de sa position à l'intérieur du mot. Initialement, le /ʔ/ apparaît sur le spectrogramme sous forme variée. Dans quelques cas, il est sous forme d'un burst suivi d'un petit intervalle de silence de durée 15-20 msec ou bien suivi d'un faible bruit.

En milieu non intervocalique, le /ʔ/ apparaît comme un intervalle de silence de durée 65-85 msec suivi d'un burst de durée environ 15 msec. En position finale, le /ʔ/ est en variation libre et apparaît comme un burst qui peut être suivi ou non d'un bruit faible, ce burst est précédé par un intervalle de silence de durée 80-120 msec. Avec /a/ et /aa/, le /ʔ/ apparaît comme un burst de durée 20-30 msec.

La concentration du burst avec /a/ et /aa/ est dans la région 1500-1700 Hz. Les mesures des formants du /a/ et /aa/ sont F1 : 575-650, F2 : 1180-1300 et F3 : 2300-2400.

Avec /u/ et /uu/, il n'y a pas de burst mais un très faible glissement de début de la voyelle, spécialement le long de F1-F2. Les mesures des formants de ces voyelles sont F1 : 380-400 Hz, F2 850-950 Hz et F3 : 2100-2300 Hz. Avec /i/ et /ii/, la concentration du burst lorsqu'il existe, est dans la bande 5200-5600 Hz et les mesures des formants du /i/ et /ii/ devant /ʔ/ sont F1 : 280-300 Hz, F2 : 1900-2100 Hz et F3 : 2700-2900 Hz.

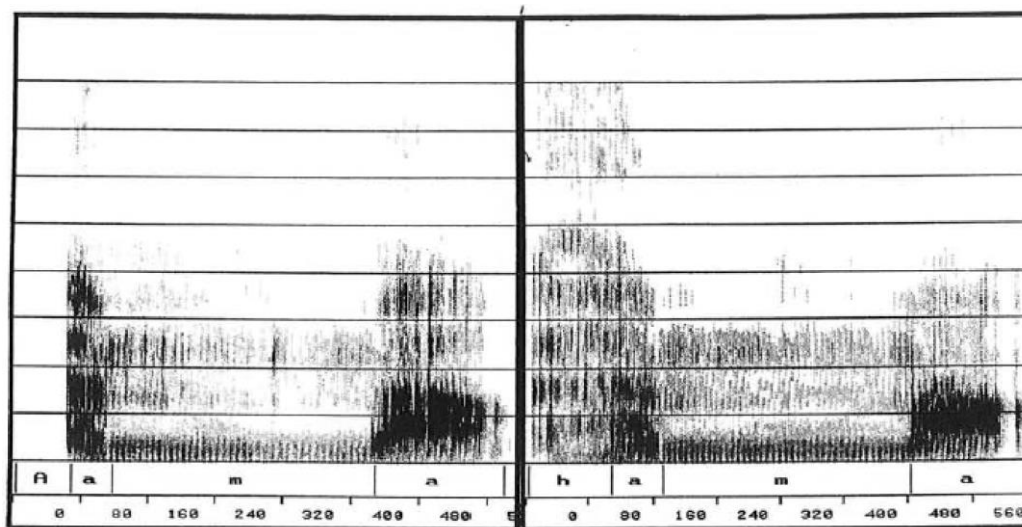


FIG. 6: Le /ʔ/ et le /h/

5.3 Les consonnes pharyngales

/ħ/ : (ħa) est une fricative pharyngale non voisée de durée 100-150 msec qui devient voisée en milieu intervocalique. Lors de la production du /ħ/ une constriction est formée par le dorsum de la langue contre la paroi postérieure du pharynx et c'est cette constriction qui différencie principalement le /ħ/ du /h/. Acoustiquement, le /ħ/ apparaît comme un bruit plus fort que celui du /h/. Avec /i/ et /ii/, la concentration du bruit est vers 3700-4500 Hz, et la limite du bruit est vers 1800 Hz. Avec /u/ et /uu/, la concentration est vers 4000 Hz et avec /a/ et /aa/ elle est dans la bande 3400-4200 Hz. Avec /ħ/, les débuts de F2 du /i/ et /ii/ sont abaissés à 1800 Hz, ceux du /u/ et /uu/ sont légèrement relevés à 900 Hz. Le F2 du /a/ est à 1400 Hz et celui du /aa/ à 1300 Hz.

/ε/ : (εayn) est décrit comme une fricative pharyngale voisée dont la structure est très dépendante du contexte de production : en position initiale, le /ε/ apparaît sur le spectrogramme comme une sorte de "burst" - durée 40-50 msec - dont l'intensité est quelque part entre 1450 et 1550 Hz. Le /ε/, en cette position affecte les débuts de F1, F2 du /i/ et /ii/ ou F1 est relevé à 400 Hz et même encore plus et F2 est abaissé à moins de 1500 Hz. Cette transition est graduelle pour une durée qui varie de 50 à 100 msec. Le /ε/ exerce aussi une influence sur les débuts de F2 du /u/ et /uu/ en les relevant à 950 Hz et parfois un peu plus. Devant /ε/, le formant F2 du /a/ est vers 1300-1350 Hz et celui du /aa/ est dans la région 1250-1300 Hz. En milieu intervocalique, il a la forme d'une sorte de continuation des formants des voyelles précédente et suivante. En position finale, le /ε/ est généralement aspiré, il apparaît sur le spectrogramme comme un son de très faible énergie dans un intervalle de durée 130-160 msec précédé par un glissement de F1 et F2 du son précédent (le plus souvent une voyelle), cet intervalle est terminé par un souffle ou un bruit faible.

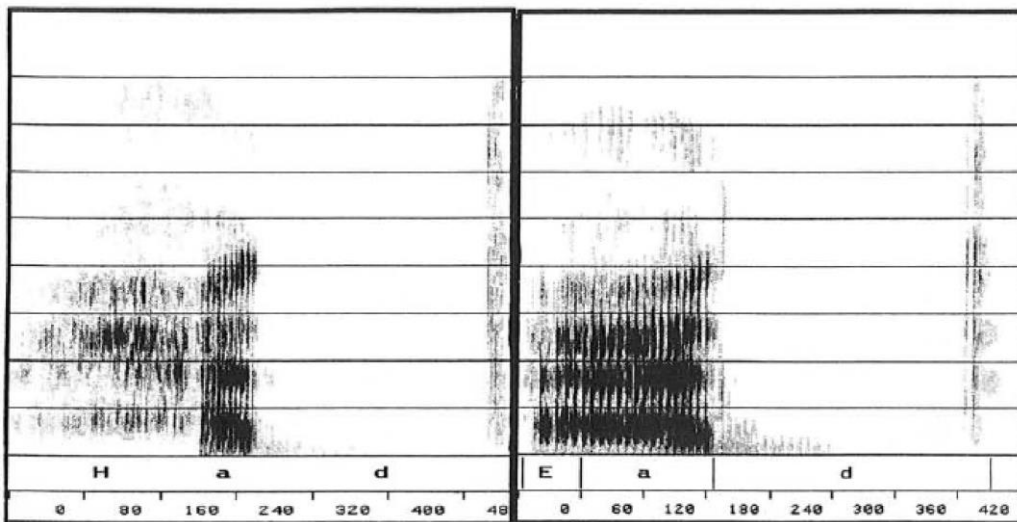


FIG. 7: Le /ħ/ et le /ε/

6 Les consonnes emphatiques

6.1 Introduction

Le système phonétique de l'Arabe tire son originalité de la présence des consonnes emphatiques : la langue arabe est souvent appelée la langue du /ḍad/. Un phonème qui n'existe qu'en Arabe et qui est d'ailleurs difficile à prononcer. Le sentiment des non-linguistes est généralement que les sons emphatiques sont prononcés avec fermeté et possède, donc une autre tonalité. Essayons de voir ce que pensent les linguistes.

6.2 Définition traditionnelle de l'emphase

En Arabe, les quatre articulations définies traditionnellement comme emphatiques sont /t/, /s/, /d/ et /ð/ [Giannini 82]. C'est à ces articulations que les anciens grammairiens arabes donnent le nom /mutbaqa/. Leur nombre varie d'un auteur à un autre. Sibawayh, l'un des chefs de file de l'école de Basra donne pour les consonnes emphatiques la description suivante : "les consonnes sont couvertes /mutbaq/ ou découvertes /munfatiḥ/. Sont /mutbaq/ les consonnes /s/, /d/, /t/ et /ð/ et /munfatiḥ/ toutes les autres, car pour aucune d'elles l'on ne dispose la langue comme un couvercle relevé vers le palais" et déclare que "la langue, placée pour chacune de ces quatre consonnes emphatiques à son lieu se dispose à partir de ce lieu, sur toute sa surface, comme un couvercle relevé vers la partie correspondante du palais. La langue ainsi disposée, le son est comprimé entre la langue et le palais jusqu'au lieu de chacune de ces consonnes". Il ajoute que "dans le cas des consonnes comme le /d/ et le /z/ etc, le son n'est pas comprimé pour chacun qu'à son lieu, là où la langue est placée" et confirme que "ces quatre consonnes emphatiques ont deux lieux intéressant la langue, fait qui a été mis en évidence par la compression particulière du son". Enfin, pour Sibawayh "s'ils n'étaient pas emphatiques, le /t/ serait un /d/, le /s/ un /s/ le /d/ un /ð/ et le /d/ sortirait, lui de la langue arabe, parce qu'il n'y a aucune consonne à ce lieu d'articulation » [Sibawayh 89]

De Sacy [Sacy 10] définit l'emphase ou l'articulation emphatique comme étant une sorte de renflement qu'il n'est pas aisé de définir mais qui fait en quelque sorte entendre un o sourd après la consonne, ainsi le mot /šaad/ se prononce presque comme /soad/ sans cependant que cet o se fasse entendre distinctement.

P. Marçais [Marçais 48] quant à lui déclare que l'emphase impliquerait essentiellement un exhaussement du dos de la langue vers le palais, l'air étant pressé dans l'espace compris entre la langue et son couvercle : la cavité palatale (d'où le terme couverture) et il ajoute que l'emphase vue à l'écran radioscopique comporte une extension de la langue de l'avant vers l'arrière avec affaissement du milieu du dos et donc élargissement de la cavité palatovélaire.

Dans une recherche expérimentale sur la nature des consonnes emphatiques de l'Arabe, Bonnot [Bonnot 77] confirme que les consonnes emphatiques possèdent deux lieux d'articulation, l'un antérieur et l'autre postérieur mais que la corrélation d'emphase est limitée à six consonnes (/t/-/t/, /d/-/d/ et /s/-/s/) et que l'opposition /k/-/q/ doit être exclue. Une exclusion confirmée par Kutiyagawa [Kutiyagawa].

En abordant l'emphase, El Ani [Ani 70] estime que la région entraînée est pharyngale et non pas vélaire comme le prétendent d'autres phonéticiens en particulier Troubetzkoy qui selon lui les phonèmes porteurs de la marque de vélarisation emphatique sont au nombre de neuf [Troubetzkoy 70]

En dépit des différentes descriptions des consonnes emphatiques et les définitions de l'emphase, le processus articulatoire qui se produit lors de la réalisation de ces articulations reste peu clair comme le résultat de l'utilisation du mot ambigu : l'emphase, la couverture ou l'itbaaq.

Les auteurs sont presque unanimes à l'exception de Bonnot [Bonnot 77] sur le fait que chaque fois qu'une consonne emphatique se produit à l'intérieur d'une syllabe, la syllabe tout entière est phonétiquement emphatique. Ceci met tous les phonèmes allophoniquement conditionnés par cet environnement. De même, selon ces auteurs, le phénomène d'emphase n'est pas enfermé dans la limite de la syllabe mais peut ou non avoir une influence sur la syllabe voisine.

6.3 Description acoustique

Les consonnes emphatiques de l'Arabe comportent une forte tension des différents organes articulatoires, elles relèvent d'un phénomène buccal qui consiste en un report en arrière de la racine de la langue et en un abaissement et un creusement du dos de la langue. Acoustiquement, elles se reconnaissent en général, par l'élévation de la transition de F1 et la baisse de la transition de F2 de la voyelle précédente et suivante. Les emphatiques de l'Arabe moderne sont au nombre de quatre : deux plosives et deux fricatives que nous décrivons.

/t/ : **/ta/** est une plosive alvéodentale emphatique non aspirante et non voisée qui apparaît sur le spectrogramme comme un burst de durée relative 20-30 msec, plus long avec les voyelles longues et qui est sous forme d'une barre verticale plus forte que celle du /t/ suivi d'un intervalle sans bruit remarquable, donc plus en durée. En position finale, la durée relative de l'intervalle avant l'explosion est de 100-180 msec, la concentration du burst est généralement plus basse en fréquence que celle du /t/. Avec /i/ et /ii/, la concentration est dans la région de F1-F2 à 1700-2400 Hz, avec /u/ et /uu/ entre 1400 et 2200 Hz et avec /a/ et /aa/ entre 1500-2400 Hz. Devant /t/, F1 et F2 du /i/ et /ii/ sont tous les deux influencés par abaissement des débuts de F2 vers 1700 Hz et le soulèvement des débuts de F1 à 4500 Hz. La transition de F2 du /i/ prend à peu près le tiers de la durée de la voyelle alors qu'avec /ii/la transition prend environ le cinquième. Les débuts de F2 du /u/ et /uu/ devant /t/ se situent vers 900 Hz, F1 de /u/ et /uu/ est vers 459 Hz. Le F2 du /a/ est vers 1150-1250 Hz et celui du /aa/ est à 1050-1150 Hz, ce qui différencie sensiblement le /a/ du /aa/. Le /a/ et /aa/ ont un formant F1 vers 650 Hz.

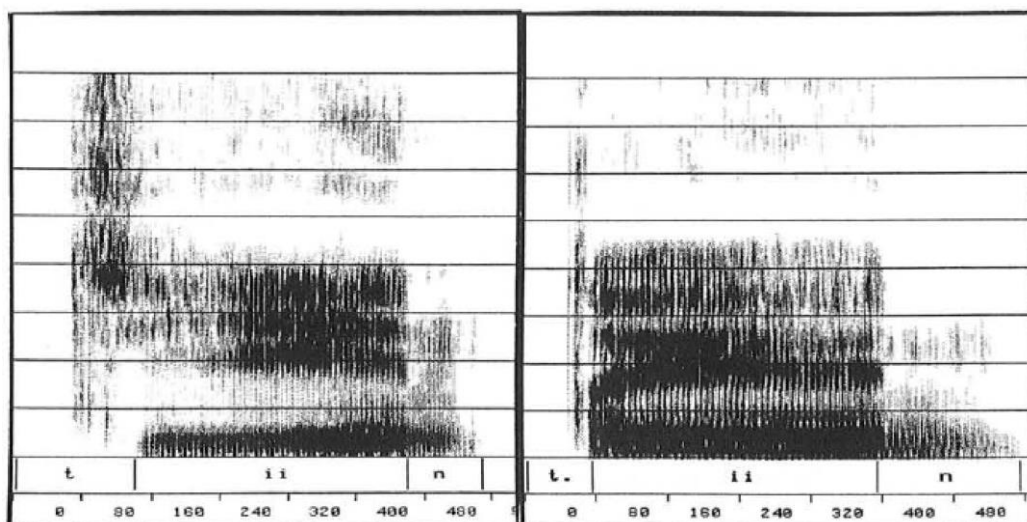


FIG. 9: Le /t/ et le /t./

/d/ : **/dad/** est une plosive alvéodentale emphatique voisée et non aspirante de durée 80-100 msec.

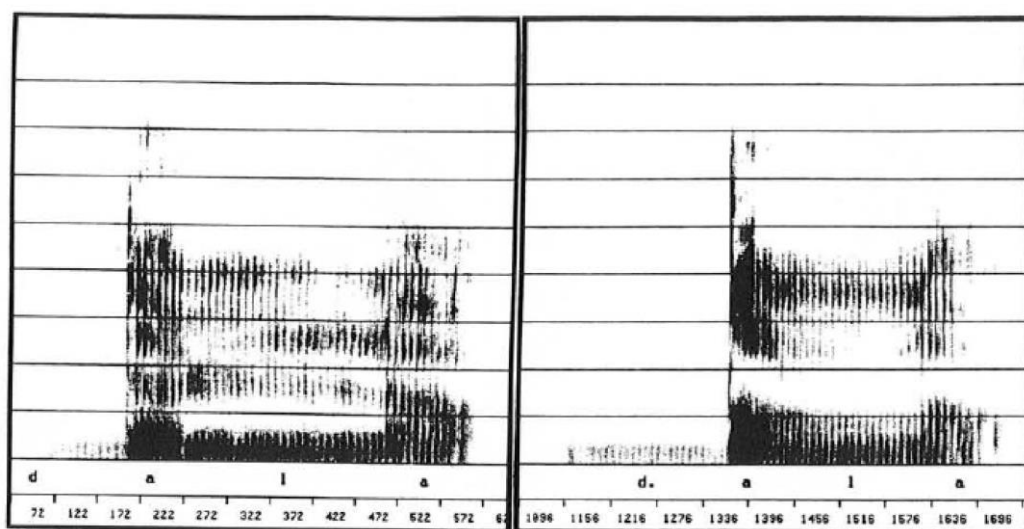


FIG. 10: Le /d/ et le /d./

C'est un phonème très difficile à prononcer et on le confond presque toujours avec /ð/. La paire minimale qui distingue ces deux phonèmes est : /ðalla/ : s'égarer et /ðalla/ : rester.

/ʃ/ : /ʃad/ est une fricative dorsoalvéolaire sifflante emphatique non voisée. Le /ʃ/ apparaît comme un bruit aléatoire de durée relative 100-170 msec en hautes fréquences à partir de 2800 Hz. Le /ʃ/, comme /t/, influe sur les voyelles, les débuts de F2 du /i/ et /ii/ sont abaissés à 1700 Hz et on voit donc une transition montante. Le /ʃ/ affecte aussi les débuts de F1 du /i/ et /ii/ qui sont relevés de 300 Hz à 450 Hz L'influence du /ʃ/ sur F1 et F2 du /i/ est plus remarquable que sur ceux du /ii/. Sur l'axe du temps, l'influence semble atteindre le tiers de la durée du /i/. Les débuts de F2 du /u/ et /uu/ avec /ʃ/ sont graduellement relevés vers 1050 Hz. Les débuts de F1 du /u/ et /uu/ se situent vers 400 Hz. Les fréquences du second formant du /a/ avec /ʃ/ sont vers 1200-1250 Hz et celle du /aa/ vers 1100 Hz. F1 du /a/ et /a/ est vers 650 Hz.

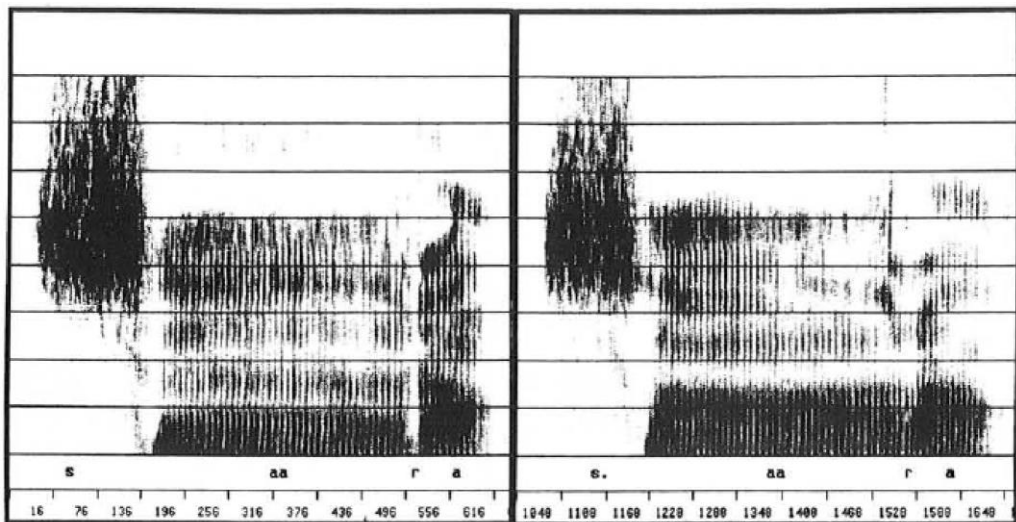


FIG. 11: Le /s/ et le /ʃ/

/ð/ : /Dha/ est décrit comme une fricative interdente emphatique et non voisée de durée relative 900-120 msec. Il semble avoir une résonance qui apparaît comme des formants faibles F1 à 400 Hz, F2 à 1200 Hz et F3 à 2350 Hz et un certain bruit, mais les valeurs des structures formantiques sont très influencées par le contexte vocalique adjacent. /ð/ influe sur les débuts de F2 du /i/ et /ii/ par leur abaissement à 1700-1800 Hz. Les débuts de F1 du /i/ et /ii/ montent à 400 Hz. Au voisinage du /ð/, les débuts de F2 du /u/ et /uu/ sont abaissés à 900 Hz, ceux de F1 sont soulevés à 450 Hz. Enfin, le F2 du /a/ est à 1100-1200 Hz et celui du /aa/ à 1050-1150 Hz. F1 du /a/ et /aa/ se situent vers 600 Hz.

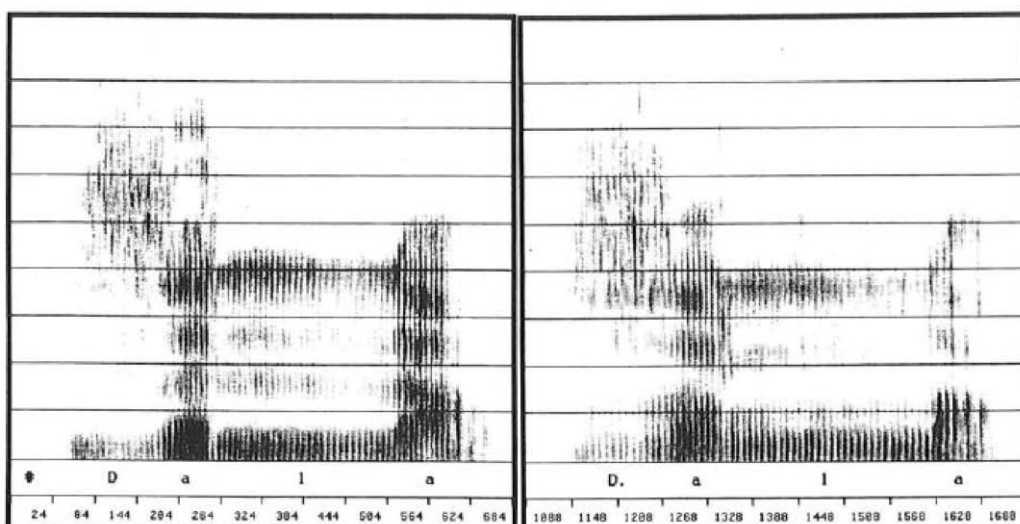


FIG. 12: Le /ð/ et le /ð/

Nous signalons aussi que le phonème /l/ possède un allophone emphatique dans le mot /ʔallah/ et que le /t/ s'emphatise souvent devant /a/ et /aa/.

7 Quelques aspects phonologiques

7.1 Analyse statistique

En complément de notre étude phonétique, nous avons jugé utile d'effectuer une analyse statistique de notre corpus DJOUMA afin d'avoir une idée sur la répartition fréquentielle des phonèmes dans le corpus.

7.1.1 Les voyelles

La répartition fréquentielle des voyelles dans le corpus a donné le résultat suivant

Voyelle	Nombre	Pourcentage
a	289	43
i	157	23
u	89	13
aa	97	15
ii	35	05
uu	9	01

D'une manière générale, selon le timbre, la répartition est la suivante :

Timbre	Nombre	Pourcentage
a	386	57
i	192	28
u	98	15

Selon la présence théorique du caractère emphatique, la répartition des voyelles est :

Milieu	Nombre	Pourcentage
Non emphatique	637	94
Emphatique	39	06

Enfin, la répartition des voyelles selon la durée donne le tableau suivant :

Durée	Nombre	Pourcentage
Brève	535	79
Longue	141	21

7.1.2 Les consonnes

La répartition des consonnes sur les 5 séries du corpus DJOUMA est la suivante :

Consonne	A	B	C	D	E	Total	Pourcentage
t	19	20	17	14	15	85	10
k	03	07	03	05	07	25	03
A	10	10	08	09	07	44	05
b	11	10	04	06	07	38	05
d	08	07	06	08	10	39	05
q	06	07	08	06	03	30	04
t.	04	04	06	01	03	18	02
d.	01	01	01	03	03	09	01
J	03	04	02	04	03	16	02
f	07	05	05	06	07	30	04
T	01	01	01	01	02	06	01
s	04	05	07	04	04	24	03
c	02	01	04	03	03	13	02
X	01	01	01	01	01	05	01
H	06	03	06	08	06	29	03
D	00	01	01	01	01	04	00
Z	01	01	01	01	02	06	01
G	02	03	01	02	01	09	01
E	04	06	08	04	07	29	03
h	04	02	02	04	01	13	02
s.	03	01	02	03	02	11	01
D.	01	01	01	01	01	05	01
m	10	10	13	15	10	58	07
n	11	20	15	18	15	79	09
r	10	13	12	08	12	55	07
l	19	20	23	18	18	98	12
w	04	04	04	07	05	24	03
y	04	04	06	08	10	32	04
Total	159	172	168	169	166	834	100

De ce tableau, on peut déduire la répartition selon le type de consonnes :

Consonnes	Nb consonnes	Nombre	Pourcentage
Plosives	8	288	35
Fricatives	14	200	24
Autres	6	346	41

Selon le voisement :

Consonnes	Nb consonnes	Nombre	Pourcentage
Voisées	12	320	38
Non voisées	17	514	62

Ou selon l'emphase :

Consonnes	Nb consonnes	Nombre	Pourcentage
Non emphatiques	24	791	95
Emphatiques	4	43	05

7.2 Durée des sons

La durée d'un son est le temps qu'on prend pour le produire. La durée relative d'un phonème dépend de son environnement, de la vitesse d'élocution et d'autres facteurs et elle significative dans la langue arabe, ainsi une différence dans la longueur de la voyelle provoque une différence de sens du mot, par exemple : /sin/ (âge) et /siin/ (lettre s)

La durée relative des consonnes dépend du fait qu'elles se produisent en début, au milieu ou en fin de mot. Elle dépend aussi du voisement, de l'aspiration et de la gémination de la consonne.

Les fricatives sont flexibles dans leurs prononciations, elles peuvent être allongées aussi longtemps que la circulation de l'air le permet, ceci pour dire que les durées relatives des fricatives sont très variables.

7.3 Les séquences phonologiques

En Arabe, la longueur des groupes consonantiques est égale à 2, ainsi une séquence de 3 consonnes est toujours cassée par l'insertion d'une des voyelles courtes, le plus souvent /i/. Notons aussi que ces groupes ne se produisent jamais en début de mot mais uniquement au milieu et en fin de mot.

Une analyse statistique [Mrayati 87] sur la production des groupes de consonnes en Arabe permet de dégager deux groupes : les consonnes antérieures et les consonnes postérieures. Les consonnes postérieures incluent les consonnes vélares, uvulaires, pharyngales et glottales. Les consonnes antérieures incluent les consonnes restantes qui forment des groupements avec les consonnes postérieures.

Signalons que /w/, /y/ et /J/ forment des groupes avec toutes les consonnes et que /b/ et /f/ se produisent librement avec les consonnes postérieures et antérieures à l'exception de /bf/, /bm/, /fb/, /fm/ et /fh/. Par contre le /m/ se produit avec toutes les autres consonnes excepté le /f/. Pour le /n/, /r/ et /l/ seules les combinaisons suivantes sont impossibles : /nr/, /nl/, /rl/, /ln/ et /lr/. Enfin, les consonnes /k/ et /q/ ne se produisent pas entre elles. De même pour /X/ et /G/ et pour /H/, /E/ et /h/.

7.4 La gémination

La gémination entraîne le renforcement de l'articulation et l'accentuation des propriétés de la consonne, elle provoque ainsi une prolongation de la fermeture de la plosive ou du continuant des autres consonnes et ne peut jamais être considérée comme le dédoublement de la consonne. Phonétiquement, il n'existe pas de consonnes géminées : une géminée est considérée comme une consonne longue.

La caractéristique la plus évidente est donc la différence très importante de durée, en effet le rapport géminée / simple est de l'ordre de 2 mais selon Bonnot [Bonnot 79], au contact d'une consonne géminée, les transitions et les parties stables des formants F1 et F2 de la voyelle sont plus basses alors que le troisième formant est plus haut.

La gémination en Arabe a une fonction différenciatrice. Les consonnes géminées apparaissent dans les positions où un grouper de deux consonnes est admis. La gémination joue par ailleurs un rôle structurel dans le développement morphologique du nom et du verbe. La gémination peut à elle seule différencier les mots exemple /Jamaal/ : (beauté) et /Jamaal/ : (chamelier).

7.5 La syllabe

La syllabe en Arabe débute toujours par une consonne et une seule. Elle peut se terminer par une voyelle (syllabe ouverte) ou par une seule consonne (syllabe fermée). Il existe donc quatre types de syllabes

- La syllabe brève ouverte CV ex. /ka/ : "comme"
- La syllabe longue ouverte CVV ex. /laa/ : "non"
- La syllabe longue fermée CVC ex. /hum/ : "ils"
- La syllabe ultralongue fermée CVVC

Le dernier type est à mon avis irréalisable en Arabe standard, enfin, si deux consonnes se suivent à l'intérieur du mot, la première sera rattachée à la syllabe précédente et la seconde à la suivante.

7.6 L'accent

En règle générale, l'accent se place sur la première syllabe longue à partir de la fin du mot ; s'il n'y a pas de syllabe longue, il se place sur la première syllabe du mot ; les syllabes longues finales ne portent jamais l'accent.

7.7 La prosodie

La fréquence fondamentale, qui correspond à la fréquence de résonance des cordes vocales dépend de la nature de la phrase. En Arabe, il existe cinq types de phrases :

Les phrases déclaratives : ce type de phrases est le plus fréquent et pour qui la prononciation est un modèle pour le pitch.

Les commandes : il s'agit d'un ordre, où la phrase est centrée autour du verbe conjugué comme à l'impératif. Le pitch est élevé au niveau du verbe même.

Les questions : le pitch est plus élevé au niveau du mot de la question. Ce dernier se trouve généralement au début de la phrase.

Les appels : ils sont constitués de l'article d'appel (/ya/ ou /Aya/) suivi de l'appelé. Les phrases sont généralement courtes et le pitch est pratiquement le même que pour les phrases déclaratives.

Les exclamations : le pitch est plus élevé à la fin du mot principal de la phrase.

8 Conclusion

Nous avons présenté dans ce rapport une étude phonétique de l'Arabe standard basée essentiellement sur des visions spectrographiques de phrases qui constituent le corpus DJOUMA.

Cette étude nous a permis d'acquérir une expérience fort intéressante dans le domaine de la lecture de spectrogrammes et pouvoir ainsi construire une base de connaissances et développer des algorithmes de reconnaissance phonétique.

Références

- [Ani 70] S. H. Al. Ani. *Arabic Phonology. An Acoustical and Physiological Investigation*. Mouton & Co N.V., 1970
- [Bonnot 77] J. F. Bonnot. Recherche expérimentale sur la nature des consonnes emphatiques de l'Arabe classique. Rapport no. 9, *Travaux de l'Institut de phonétique de Strasbourg*, 1977.
- [Bonnot 79] J. F. Bonnot. Recherche expérimentale de certains aspects de la gémination et de l'emphase en Arabe. Rapport no. 11, *Travaux de l'Institut de phonétique de Strasbourg*, 1979.
- [Combescure 81] P. Combescure. Vingt listes de dix phrases phonétiquement équilibrées. *Revue d'Acoustique*, 14(56), 1981
- [Ghazali 87a] S. Ghazali. Elements of Arabic Phonetics. *Applied Arabic Linguistics and Signal Information Processing*, pages 51- 58. Hemisphere Publishing Corporation, 1987
- [Ghazali 87 b] S. Ghazali. Étude EMG préliminaire sur les consonnes arrière de l'Arabe. Actes des 16^{ème} Journées d'Études sur la Parole, pages 286- 289, Hammamet, Tunisie, Octobre 1987.
- [Giannini 82] A. Giannini et M. Pettorino. The Emphatic Consonants in Arabic. Giardini editori stampatori, 1982
- [Kuriyagawa 87] Fukuko Kuriyagawa. The Features of /k/ and /q/ in Cairo Standard Arabic. In Ann. Bull. RILP, pages 65-73, 1984.
- [Marçais 48] P. Marçais. L'articulation de l'emphase dans un parler arabe maghrébin. *Annales de l'Institut d'Études Orientales*, 1948.
- [Mrayati 87] Mrayati. Statistical Studies of Arabic Language Roots. *Applied Arabic Linguistics and Signal & Information Processing*, pages 97- 103. Hemisphere publishing corporation, 1987.
- [Sacy 10] S. De Sacy. Grammaire arabe. De Sacy, 1810.
- [Salah 87] A. Hadj Salah. Arabic Linguistics Phonetics. In *Applied Arabic Linguistics Phonetics and Signal Information*. Page 3-22, 1987.
- [Sibawayh 89] Sibawayh. *EL KITA B*, traité de grammaire arabe. H. Derembourg, 1889.
- [Troubetzky 70] X. S. Troubetzky. Principes de phonologie. Klincksiek, Paris, 1970.