

*Analyse et comparaison des durées en milieux
emphatique et géminé: cas des voyelles courtes
et longues de l'Arabe Standard*

DROUA-HAMDANI Ghania
CRSTDLA, Alger

Résumé :

Pour pouvoir réaliser un système automatique performant, quel que soit son domaine d'application synthèse ou reconnaissance automatiques de la parole, une connaissance phonologique, phonétique et acoustique des différentes unités composant la langue étudiée est souvent nécessaire. La parole continue est très variable tant par les différentes réalisations phoniques générées que par la diversité des locuteurs qui la produisent. Parmi les paramètres pertinents du signal vocal, nous avons : la fréquence fondamentale, l'énergie et la durée. Ce dernier paramètre est dépendant d'un nombre considérable de facteurs de variabilité intra et interlocuteurs. Plusieurs travaux traitant de cet axe ont été réalisés dans différentes langues (latines, germanique et japonaise), en revanche, pour l'Arabe, peu d'études lui sont dédiées et ce malgré le rôle fonctionnel et fondamental qu'occupe la durée dans la distinction entre les mots. Nous exposerons une comparaison entre les durées segmentales des voyelles courtes et longues dans les deux contextes emphatique et géminé. En effet, nous

Analyse et comparaison des durées en milieux emphatique et géminé:
cas des voyelles courtes et longues de l'Arabe Standard

exposerons à partir des résultats d'analyse l'effet de chaque caractéristique sur la durée des phonèmes.

1. Introduction

La parole continue est très variable tant par les différentes réalisations phoniques générées que par la diversité des locuteurs qui la produisent. Acoustiquement, le signal parole est représenté par 3 paramètres principaux: la fréquence fondamentale, l'énergie et la durée. Contrairement aux deux premières caractéristiques, la durée phonémique dépend d'un nombre considérable de facteurs de variabilité intra et interlocuteurs. Nous citons à titre d'exemples : la coarticulation (l'influence d'un son sur le son contigu), le sexe (homme / femme), l'âge, l'accent régional, le débit d'élocution, l'état émotionnel du locuteur, etc. [1]. Les systèmes de Synthèses Automatiques de la Parole (Text-To-Speech -TTS-) sont jugés de bonne qualité suivant l'intelligibilité et le naturel de la parole produite [2]. Cependant, pour atteindre cet objectif, il est souvent indispensable de porter des modifications spécifiques sur le signal acoustique généré par ces systèmes. En effet, pour une synthèse par concaténation, il faudrait procéder grâce à des techniques spécifiques (PSOLA-TD, HNM) [3] [4] à un lissage au niveau de la jonction des unités sonores (diphones ou polysyllabes) c'est-à-dire sur l'énergie, la fréquence et enfin la durée. Cependant, pour connaître de comment doit-on modifier les paramètres du signal vocal une analyse des corpus suivie d'un traitement et d'une modélisation sont indispensables.

**Analyse et comparaison des durées en milieux emphatique et géminé:
cas des voyelles courtes et longues de l'Arabe Standard**

Dans cet article, nous nous intéressons à l'arabe standard, plus exactement à l'analyse des durées des voyelles courtes et longues en contexte emphatique et géminé. A l'issue de cette analyse une modélisation et par la suite une application à un système TTS en l'occurrence le système Arphon 2.0 sont prévues [5]. Des études similaires ont été effectuées pour le même but notamment pour les consonnes arabes [6][7].

2. L'importance de la durée dans la langue arabe

L'Arabe Standard est caractérisé par trois principales spécificités, dont le rôle est la distinction entre les mots: le madd, l'emphase et la gémination. Le madd représente l'allongement des voyelles courtes (brèves) [a] [u] et [i]. L'emphase représente la pharyngalisation engendrée par la contraction de la partie supérieure du pharynx (rétrécissement de la cavité). De ce fait, un second lieu d'articulation se crée pour permettre la phonation de quatre phonèmes particuliers qui sont : ([ʕ], [t̤], [d̤] et [d̤]). La dernière caractéristique étant la gémination, appelée aussi redoublement, elle correspond au prolongement de l'articulation consonantique (Table 1).

[madd]	Gémination	Emphase
[qatala] [qa:tala]	[hama:m] [hamma:m]	[natara] [nadara]

Table.1 : Caractéristiques de l'Arabe Standard

**Analyse et comparaison des durées en milieu emphatique et géminé:
cas des voyelles courtes et longues de l'Arabe Standard**

3. Méthodologie

Etant dédié spécialement pour l'étude, le corpus élaboré est constitué de 100 phrases énonciatives (parole continue) dont le débit d'élocution est normal. Les prélèvements ont été faits sur des séquences du type $[C_1V_1C_2V_2C_3V_3]$ ou plus avec $C_i \equiv$ consonne et $V_i \equiv$ voyelle. L'analyse consiste à étudier la variation de la durée des voyelles courtes et longues (vC/vL) en contexte emphatique et géminé en tenant compte de leurs positions dans le mot (Initiale (I), Médiane (M) et Finale (F)). La fréquence d'échantillonnage choisie est de 11025 Hz échantillons codés sur 16 bits.

4. Analyse des durées des voyelles courtes et longues en milieu emphatique

Pour étudier le comportement des vC et vL en contexte emphatique plusieurs analyses de durées ont été effectuées:

4.1. Calcul des durées moyennes et minimales

A partir des données prélevées du corpus, la première étape effectuée est le calcul des durées moyennes (Dmoy) et durées minimales (Dmin) pour chaque voyelle courte ou longue quelque soit la consonne emphatique précédente (table.2).

Nous remarquons voir (tableau) que les valeurs des durées moyennes sont proches de même que pour les

**Analyse et comparaison des durées en milieux emphatique et géminé:
cas des voyelles courtes et longues de l'Arabe Standard**

durées minimales et que le rapport voyelles courtes sur voyelles longues avoisine le 2,5 pour toutes les paires de voyelles.

	[a]	[a:]	[u]	[u:]	[i]
Dmoy	79,63	185,16	82,11	196,02	78,44
Dmin	59,9	123	55,3	108	58
vL/vC	2,3		2,4		2,6

Table.2 : Calcul des durées moyennes et minimales

4.2. Calcul de durée selon le contexte gauche

La seconde analyse effectuée avait pour but d'estimer la variation de la durée en (ms) ainsi que de suivre l'évolution de chaque voyelle suivant la consonne emphatique précédente (contexte gauche) (table.3). Le nombre total des mesures s'élève à 60 valeurs par voyelle courte et longue selon le contexte gauche (consonne emphatique précédente) soit un total de 540 valeurs.

Nous constatons des résultats que l'influence du contexte est presque similaire pour les voyelles courtes tandis qu'elle est variable lorsqu'il s'agit de voyelle longue. Les coefficients (ka, ku et ki) nous donnent le taux de variabilité dont les valeurs confortent celles du tab.2. En effet, elles sont presque uniformes pour les paires de voyelles ([a]/[a:] et [u]/[u:]) contrairement à la paire ([i]/[i:]) où une fluctuation plus prononcée pour le [i:] est constatée.

**Analyse et comparaison des durées en milieux emphatique et géminé:
cas des voyelles courtes et longues de l'Arabe Standard**

	[s]	[t]	[d]	[d]
[a]	79,14	76,27	82,62	80,49
[a:]	181,50	187,08	179,83	194,56
ka	0,44	0,41	0,46	0,41
[u]	78,81	78,58	84,06	86,98
[u:]	176,25	182,67	210,78	225,44
ku	0,45	0,43	0,40	0,39
[i]	69	79,98	84,33	80,47
[i:]	193,42	212,42	129,33	140,67
ki	0,36	0,38	0,65	0,57

**Table.3 : Comparaison des durées voyelles selon la
consonne emphatique précédente**

***4.3. Evolution de la durée selon la position dans le
contexte emphatique***

Sachant que la durée des phonèmes varie selon la position de ces derniers dans le mot, nous avons voulu par cette expérience quantifier le taux de variation de ce paramètre en tenant compte de cet élément. Les tableaux suivants donnent l'évolution de la durée des voyelles et les coefficients correspondants selon la position dans le mot ou la phrase. Pour cela, nous avons considéré à partir du corpus trois positions (initiale, médiane et finale) pour chaque voyelle en rapport avec la consonne précédente, prélevé les durées qui leurs sont afférentes.

A partir de la table. 4, nous pouvons constater que lorsque la voyelle est située au milieu du mot sa durée diminue nettement par rapport aux autres positions et ce

**Analyse et comparaison des durées en milieux emphatique et géminé:
cas des voyelles courtes et longues de l'Arabe Standard**

quelque soit son type (courte ou longue). Ceci dit, nous notons aussi, qu'elle est supérieure à la position finale contrairement aux deux autres et que les durées des vL en Pos.fin varient plus que leurs homologues des vC.

	Pos.ini	Pos.med	Pos.fin
[a]	85,5	66,73	86,67
[a:]	177,27	149,67	228,53
[u]	82,82	79,59	83,91
[u:]	191,86	166	230,21
[i]	80,72	73,92	80,7
[i:]	206	146,29	261,5

Table.4 : Comparaison des variations de durées des vC et vL selon la position dans le mot

Par ailleurs, si nous comparons les valeur par type de voyelles exp: les vC, nous remarquons que les durées de [a], [u] et [i] sont proches en Pos.ini et Pos.fin.

Pour estimer le taux de variation par position, nous avons calculé des coefficients k1 et k2 qui correspondent respectivement à la variation de la durée, de la Pos.ini et Pos.med par rapport à la Pos.fin (table.5). Nous considérons Pos.fin comme référence dans le but de réduire le phénomène de la coarticulation (influence des phonèmes les uns sur les autres).

Les table.5 et fig.1 montrent l'évolution des voyelles en fonction du contexte emphatique selon les positions. Tandis que la variation est légère pour les vC notamment pour la position initiale ($\approx 0,99$), cette dernière devient considérable pour les vL.

**Analyse et comparaison des durées en milieux emphatique et géminé:
cas des voyelles courtes et longues de l'Arabe Standard**

	k1	k2
[a]	0,99	0,77
[a:]	0,78	0,65
[u]	0,99	0,95
[u:]	0,83	0,72
[i]	1	0,92
[i:]	0,79	0,56

Table.5: Coefficients de modifications de durées des vC et vL selon la position dans le mot

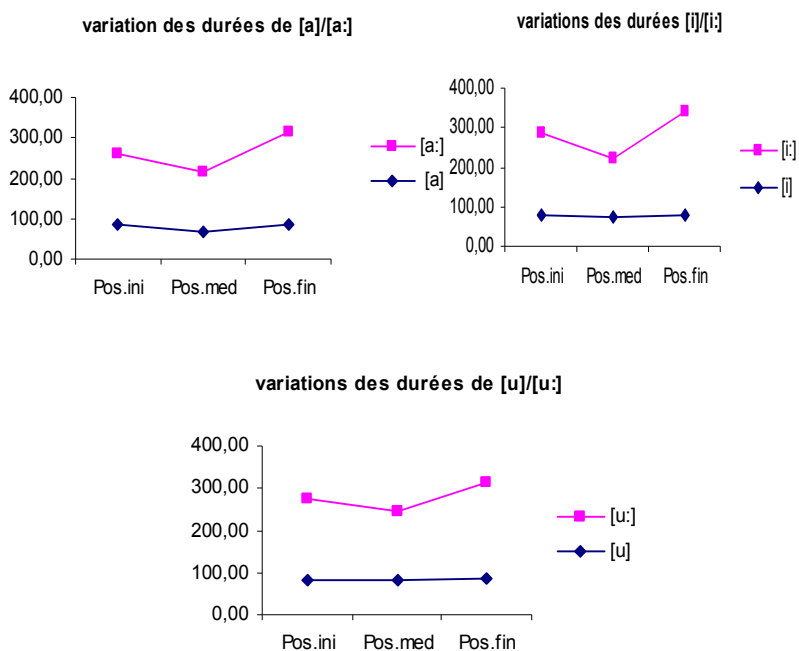


Fig.1: Représentations des durées des vC et vL selon la position dans le mot

Analyse et comparaison des durées en milieu emphatique et géminé:
cas des voyelles courtes et longues de l'Arabe Standard

5. Analyse des durées des voyelles courtes et longues en milieu géminé

La même analyse a été effectuée pour le contexte géminé. Cependant, nous avons considéré pour l'étude les consonnes suivantes: [s], [t], [d], [d̤], [z], [d̤.], [t̤], [s], [d] et [t].

5.1. Calcul des durées moyennes et minimales

Le tableau.5 donne les moyennes calculées en milieu géminé pour les deux types de voyelles quelque soient leurs positions. Nous remarquons du tableau que les durées des vL sont plus importantes que les durées des vC (3,5 plus). De plus, si nous comparons ces dernières avec celles obtenues (table.2,) nous remarquons que la gémination influe beaucoup plus que l'emphase.

	[a]	[a:]	[u]	[u:]
Dmoy	85	284,9	86,9	296,3
Dmin	54,1	162	63,8	194
vL/vC	3,4		3,4	

Table.5 : Calcul des durées moyennes et minimales

5.2 Evolution de la durée suivant le contexte gauche

Le tableau. 6 et la figure.2 suivants donnent l'évolution de chaque voyelle suivant la consonne géminée précédente (contexte gauche).

**Analyse et comparaison des durées en milieux emphatique et géminé:
cas des voyelles courtes et longues de l'Arabe Standard**

	[a]	[a:]	[u]	[u:]	[i]	[i:]
[š]	83,35	312,75	82,50	298,25	82,50	305,25
[t]	81,60	291,17	86,75	295,75	80,88	322,75
[d]	90,40	277,50	87,75	337,75	75,20	281,50
[d]	84,35	308,00	82,43	307,75	76,80	294,50
[z]	93,38	284,25	91,78	287,50	94,98	284,75
[d.]	81,73	308,50	94,35	283,75	81,35	292,25
[t]	72,23	306,25	82,33	277,75	80,85	241,00
[s]	88,85	229,75	83,95	266,25	83,78	276,00
[d]	89,28	240,83	86,55	300,75	89,21	306,50
[t]	85,03	308,50	90,43	307,00	85,00	334,50

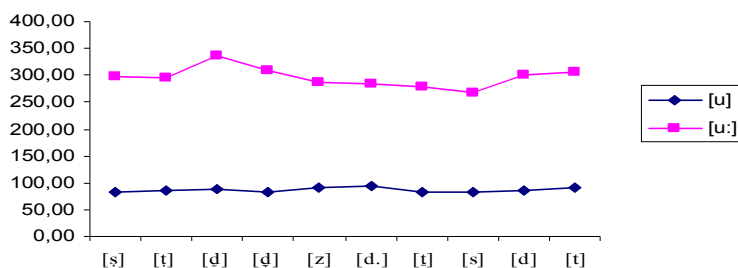
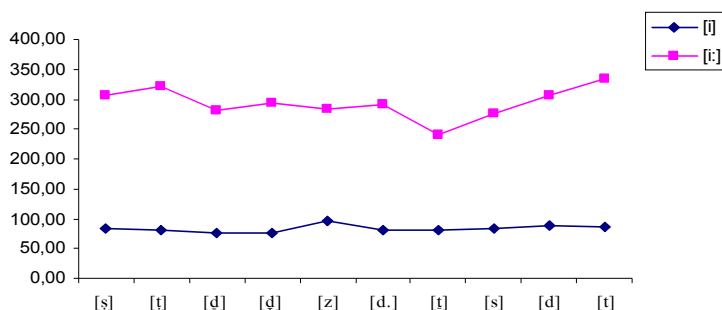
Table.6 : Variations des durées voyelles selon la consonne géminée précédent

Nous pouvons constater sur la base des résultats du tableau et des courbes de la fig.2 que des durées des vC varient très peu en présence d'une géminée contrairement aux durées des vL où des variations sont notées suivant le type de consonne géminée de gauche. En calculant les taux de variabilité respectifs (table.7), nous remarquons que les taux calculés varient autour d'une moyenne de 0,3 (0.25-0.39) notamment pour les emphatiques où il était égal à 0.4 en milieu non géminé.

**Analyse et comparaison des durées en milieux emphatique et gémigné:
cas des voyelles courtes et longues de l'Arabe Standard**

	ka ([a]/ [a:])	ku ([u]/ [u:])	ki ([i]/ [i:])
[š]	0,27	0,28	0,27
[t]	0,28	0,29	0,26
[d]	0,29	0,26	0,27
[d]	0,27	0,27	0,26
[z]	0,33	0,32	0,33
[d.]	0,26	0,30	0,28
[t]	0,24	0,30	0,34
[s]	0,39	0,32	0,30
[d]	0,37	0,29	0,29
[t]	0,28	0,29	0,25

Table.7 : Coefficients de modifications de durées des vC et vL selon le contexte gémigné gauche



**Analyse et comparaison des durées en milieux emphatique et géminé:
cas des voyelles courtes et longues de l'Arabe Standard**

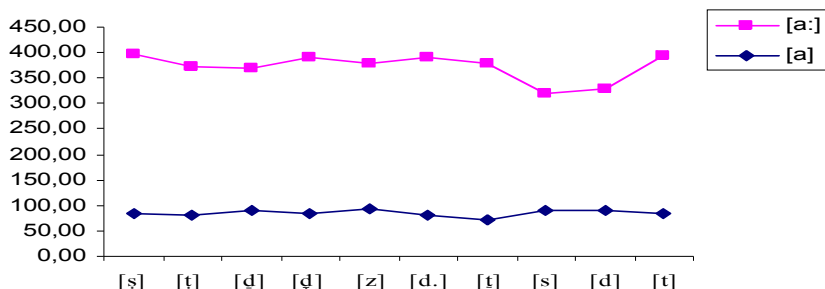


Fig.2: Variabilités des durées des vC et vL selon le consonne géminée

5.3 Evolution de la durée selon la position dans le contexte géminé

De même que pour l'emphase, nous avons calculé les variations des durées des phonèmes en fonction de leurs positions dans le mot. Rappelons que les consonnes arabes ne peuvent pas être géminées quand elles sont en position initiale. Par conséquent, l'étude va être faite uniquement sur deux positions (médiane et finale) (table.8).

	Pos.med	Pos.fin	k
[a]	78,84	91,2	0,86
[a:]	237,5	332,23	0,71
[u]	81,24	92	0,88
[u:]	240,1	335,3	0,72
[i]	74,1	91,92	0,81
[i:]	231,65	356,15	0,65

Table.8 : Coefficients de modifications de durées des vC et vL selon la position dans le mot

**Analyse et comparaison des durées en milieux emphatique et géminé:
cas des voyelles courtes et longues de l'Arabe Standard**

Nous distinguons de table.8 que la durée en Pos.fin est plus importante qu'en Pos.med pour toutes les voyelles. De plus, les rapports montrent que la diminution sont presque uniformes pour les vC et vL, respectivement ($\approx 0,85$) et ($\approx 0,69$). Cela dit, les vL subissent une variation plus prononcée en comparaison avec les vC.

6. Conclusion

Les résultats que l'on peut tirer à partir des différentes analyses pour les deux contextes emphatiques et géminés sont :

-Les durées des voyelles longues sont plus importantes pour le contexte géminé en comparaison au contexte emphatique. Autrement dit, la gémination tend à allonger la durée des voyelles plus que ne le fait l'emphase.

-Généralement l'influence est identique quelque soit le type de consonne emphatique précédant la voyelle (fricative/ occlusive). La même remarque est valable lorsque ces dernières deviennent géminées. Pour les autres consonnes étudiées, la variation est moins cadrée sans pour autant être complètement aléatoire.

-Les durées varient selon la position dans le mot. La variation pour les durées des voyelles longues est plus importante lorsqu'il s'agit de la position finale notamment pour les vL.

Analyse et comparaison des durées en milieux emphatique et géminé:
cas des voyelles courtes et longues de l'Arabe Standard

-En perspective, les coefficients calculés à partir des résultats seront utilisés par la suite, et ce avec la contribution d'autres paramètres, dans l'élaboration d'un système de règles qui formera le modèle général de durées des voyelles courtes et longues de l'Arabe Standard.

Références:

[1]. HUANG, X. & AL (2001), *Spoken language processing, A guide to Theory, Algorithm, and System Development*, Forword by Dr. Raj Reddy, Carnegie Mellon University, Prentice Hall PTR, New Jersey, USA..

[2] ZELLNER, B. (1998), *Caractérisation du débit de parole en français* Acte des XXIIèmes Journées d'Etude sur la Parole (JEP 98), Martigny, Suisse,

[3]. STYLIANOU, Y (2001), *Applying the harmonic plus noise model in concatenative speech synthesis*, Transaction on speech and audio processing, vol. 9, No. 1, IEEE, USA.

[4] COLOTTE, V.. LAPRIE, Y. (2002), *Amélioration de la précision de la synthèse avec TD-PSOLA*. XXIV^{ème} journées d'études sur la parole, Nancy, France.

[5] ABBAS, M. BENBELLIL, K. DROUA-HAMDANI, G. FERRAT, K. (2002), *Lecture automatique de textes et chiffres en arabe Standard*. Symposium international sur

**Analyse et comparaison des durées en milieux emphatique et géminé:
cas des voyelles courtes et longues de l'Arabe Standard**

le traitement automatique de l'arabe, Université de Manouba, Tunis, Tunisie.

[6] DROUA-HAMDANI, G. GUERTI M. (2005), *Prédication de la durée segmentale des consonnes arabes voisées ayant des opposées non voisées*. 2^{ème} Congrès International sur le thème : Ingénierie de l'Arabe et l'ingénierie de la langue IAIL2005, Alger, Algérie.

[7] DROUA-HAMDANI, G. GUERTI M. (2005), *Analysis and Modelisation of Short Vowel Duration in Standard Arabic*. 5th World Enformatika Conference, WEC'05, Prague, République Tchèque.