

# L'équation du locus comme mesure de la coarticulation VC et CV : Etude préliminaire en Arabe Dialectal Jordanien

Jalaleddin A-Tamimi

Laboratoire Dynamique du Langage

Institut des Sciences de l'Homme, 14 av. Berthelot – 69007 Lyon, France

Tél.: ++33 (0)4 72 72 65 34 - Fax: ++33 (0)4 72 72 65 90

Mél: Jalal-Eddin.AI-Tamimi@etu.univ-lyon2.fr - <http://www.ddl.ish-lyon.cnrs.fr/> - <http://www.univ-lyon2.fr/>

## ABSTRACT

Locus equation of second formant frequencies was investigated to measure the degree of V1C and CV2 coarticulation in C1V1C2V2 sequences, from one speaker of Jordanian Arabic. C1 was one of /ʔ b d dʕ g/, C2 = /b d dʕ g/, V1 and V2 were one of /i i: a a: u u:/. Preliminary results show more degree of coarticulation in VC than CV sequences, that the pharyngealised /dʕ/ constitutes a distinct class in the Slope X y-intercept acoustic space. When C1 = /ʔ/, there is less degree of coarticulation in VC than CV sequences (except for /d/), and vowels coarticulate more with /dʕ/ in VC than CV sequences.

## 1. INTRODUCTION

L'équation du locus représente des régressions linéaires dérivées de la relation entre les onsets du deuxième formant de différentes voyelles (F2onset) et leurs états stables correspondant (F2milieu). Lindblom [1] est à l'origine du concept de l'équation du locus (qui a été établie à partir d'une étude des séquences de type CV sur un seul sujet). Cette équation a la forme suivante :  $F2_{onset} = m \cdot F2_{milieu} + b$  (où m et b sont respectivement la pente et l'ordonnée à l'origine de la fonction de l'intersection-y). Les valeurs de cette équation sont obtenues pour une seule consonne coarticulée avec plusieurs voyelles, où F2onset représente l'ordonnée et F2cible l'abscisse.

Plusieurs chercheurs ont proposé d'utiliser les coefficients de l'équation du locus comme les représentants du lieu d'occlusion (Sussman et al. [2], [3] et [4], Modarresi et al. [5]) ou comme mesure du degré de coarticulation (Krull [6] et [7], Fowler [8], Yeou [9]).

Pour Sussman et al. [2], [3] et [4], les coefficients de l'équation du locus représentent un indice important du lieu d'articulation des consonnes, (i.e. une grande corrélation existe entre les coefficients de l'équation du locus et la place d'articulation des consonnes, malgré une variabilité individuelle et contextuelle importante). Krull [6] et [7] et Fowler [8] pensent que les valeurs de cette équation donnent un indice fiable du degré de coarticulation des consonnes et des voyelles. Fowler [8] a trouvé des valeurs de coefficient de l'équation du locus différentes selon le mode d'articulation pour des

consonnes ayant le même lieu d'articulation. Quand les pentes sont fortes, la coarticulation de la consonne avec la voyelle suivante est maximale ( $m = 1.0$ , i.e. résistance minimale de coarticulation lors de l'articulation de la consonne vers la voyelle). À l'inverse, des pentes faibles indiquent l'absence d'effets de coarticulation des voyelles ( $m = 0$ , i.e. résistance maximale de la coarticulation lors de production CV). Cette dernière affirmation a été largement étudiée et validée, entre autres, par Chennoukh et al. [10], dont les données basées sur le modèle de régions distinctives (DRM), ont montré que la valeur de la pente est très liée au degré de coarticulation.

Les résultats de Lindblom [1] et de ses successeurs montrent que les pentes de l'équation du locus varient en fonction de la place d'articulation de /g/ > /b/ > /d/ (> /dʕ/ d'après Sussman [3] et al. et Yeou [9]).

Yeou [9] a utilisé l'équation du locus en arabe standard produit par des locuteurs marocains afin d'étudier les distinctions entre des consonnes ayant différents lieux et modes d'articulation. Il a trouvé, d'une part, que cette équation ne reflète pas les distinctions du lieu d'articulation des consonnes (confortant ainsi l'hypothèse de Fowler [8]). D'autre part que l'équation du locus permet de distinguer avec succès la place d'articulation des consonnes pharyngalisées (par rapport aux non pharyngalisées) lesquelles émergent comme une classe distincte, avec une pente plus faible par rapport aux autres.

Sussman et al. [4] et Modarresi et al. [5] ont étudié la coarticulation V1C et CV2 dans des syllabes : a) CV1C.V2C et CV1.CV2C et b) V1CV2 en utilisant l'équation du locus. Leurs résultats (pour la coarticulation V1C et CV2 dans les séquences V1CV2) montrent que dans la coarticulation VC, le degré de coarticulation est plus réduit, les valeurs de R<sup>2</sup> (coefficient de régression) de toutes les occlusives sont plus basses et que l'espace de la pente X fonction de l'intersection-y diminue davantage, en comparaison à la coarticulation CV (sans prendre en compte la place d'articulation des occlusives). Ils expliquent que la dégradation de l'équation du locus des séquences VC est attribuée à la précision articulatoire plus élevée lors de la production en séquences CV.

Dans ce travail, j'étudierai la coarticulation V1C2 et C2V2 dans des séquences C1V1C2V2 en arabe dialectal

jordanien et je comparerai l'influence de C1 sur la coarticulation des voyelles V1 et V2.

D'après les données de la littérature, je formule les hypothèses suivantes :

- H 1. Les pentes de l'équation du locus vont varier en fonction de la place d'articulation /g/ > /b/ > /d/ > /d<sup>ɕ</sup>/ et selon les structures syllabiques.
- H 2. Le degré de coarticulation, les valeurs de R<sup>2</sup> et l'espace de la pente X fonction de l'intersection-y des séquences VC seront réduits par rapport aux séquences CV.
- H 3. La consonne pharyngalisée /d<sup>ɕ</sup>/ aura une place distincte dans l'espace de la pente X fonction de l'intersection-y.

## 2. MÉTHODOLOGIE

### 2.1. Langue, locuteur et corpus

Un locuteur homme parlant l'arabe dialectal jordanien a servi à établir cette étude préliminaire. Le système vocalique de l'arabe jordanien est, *phonologiquement*, constitué de 5 voyelles longues et 3 voyelles brèves /i i: e: a: a: o: u u:/ (/e: o:/ représentent les anciennes diphtongues de l'arabe classique /aj aw/ respectivement, Bani Yassin [11]). Le corpus a été constitué d'une liste de mots et de pseudo mots ayant la forme C1V1C2V2, où C1 = /ʔ b d d<sup>ɕ</sup> g/, C2 = /b d d<sup>ɕ</sup> g/ (C1 = C2 ou /ʔ/), V1 et V2 = /i i: a: a: u u:/ (indépendamment de la réalisation phonétique). Toutes les combinaisons possibles ont été présentées. Nous avons au total : 288 items (2 choix de C1\*4 C2\*6 V1\*6 V2\*1 répétitions).

L'enregistrement des données a été effectué dans une chambre sourde sur un ordinateur PC. La numérisation a été effectuée à 22 KHz, 16-bits, mono.

### 2.2. Analyse et traitement des données

Des analyses acoustiques ont été menées sur les 288 items avec le logiciel de traitement du signal WinSnoori®, Laprie [12], avec une analyse LPC, avec une fenêtre glissante de signal d'une durée de 8 ms pondérée par la fenêtre de Hamming. Les valeurs formantiques de l'Onset, du milieu et de l'Offset des 3 premiers formants de V1 et de V2 ont été extraits. Il existe différentes méthodes d'extraction des valeurs des onsets~offsets des voyelles. La méthode que j'ai utilisée est la suivante : le seuil de transition entre C1 et V1 est détecté à 00 ms, l'instant de relâchement est détecté par la variation brutale de l'amplitude du signal et par la variation de F0 (apparition ou augmentation de F0). J'ai considéré toutes les valeurs formantiques entre 00 ms et 10 ms. La valeur formantique de F2onset choisie est celle dont l'amplitude est la plus élevée.

Au total on dispose de 2592 mesures formantiques (288 items \* 3 formants \* 3 positions). Seules les valeurs de F2 (F2milieu et F2offset de V1 et F2onset et F2 milieu de V2) des voyelles /i i: a: a: u u:/ ont été utilisées pour cette étude, soit 576 mesures (2592 mesures / 3 formants / 3 positions = 288 \* 2 positions), lesquelles serviront au calcul de l'équation du locus de différentes consonnes.

## 3. RÉSULTATS

Les tableaux suivants présentent les valeurs de l'équation du locus de F2 des différentes consonnes.

**Table 1 :** Valeurs de la pente (m), de l'intersection-y (b) et du coefficient de régression (R<sup>2</sup>) des séquences V1C dans deux contextes pour C1.

C2	VIC							
	C1 = ?				C1 = C2 = b d d <sup>ɕ</sup> g			
	b	d	d <sup>ɕ</sup>	g	b	d	d <sup>ɕ</sup>	g
m	0,6457	0,5229	0,4316	0,9677	0,6724	0,3378	0,5303	1,0281
b	360,44	869,33	477,25	108,46	347,84	1181	424,99	-21,109
R <sup>2</sup>	0,8102	0,7423	0,7837	0,7356	0,8708	0,6417	0,8805	0,8176

**Table 2 :** Valeurs de la pente (m), de l'intersection-y (b) et du coefficient de régression (R<sup>2</sup>) des séquences CV2 dans deux contextes pour C1.

C2	CV2							
	C1 = ?				C1 = C2 = b d d <sup>ɕ</sup> g			
	b	d	d <sup>ɕ</sup>	g	b	d	d <sup>ɕ</sup>	g
m	0,4891	0,4007	0,3534	0,8797	0,6337	0,3612	0,1781	0,8692
b	642,69	1064,2	540,64	328,03	434,66	1150,4	814,85	397,93
R <sup>2</sup>	0,5647	0,5982	0,4366	0,731	0,8214	0,7077	0,4332	0,7848

Aucune analyse statistique n'a été appliquée à cause du peu de données (1 locuteur avec 1 répétition), mais les résultats préliminaires sont conformes à ceux de la littérature et encourageant à poursuivre l'étude.

La figure 1 est un exemple de la droite de régression des coordonnées (F2stable et F2onset) avec l'équation du locus. Les figures 2 à 5 présentent 4 droites de régression (dans chaque graphique) correspondant aux consonnes /b d d<sup>ɕ</sup> g/ dans les deux structures syllabiques (VC et CV) et avec C1 = /ʔ/ ou C1 = C2 = / b d d<sup>ɕ</sup> g/.

L'hypothèse H 1, selon laquelle les valeurs de l'équation vont varier en fonction du lieu d'articulation, est validée pour la coarticulation V1C et CV2 lorsqu'on compare les valeurs de la pente dans les contextes /b d d<sup>ɕ</sup> g/ (sauf pour /d<sup>ɕ</sup>/ dans la coarticulation V1C où C1 = /ʔ/). La classification est la suivante : 1) /g/ > /b/ > /d/ > /d<sup>ɕ</sup>/ pour la coarticulation CV2 (les deux contextes de C1), ainsi que pour la coarticulation V1C, avec C1 = /ʔ/, et 2) /g/ > /b/ > /d<sup>ɕ</sup>/ > /d/ avec C1 = C2 (pour V1C).

L'hypothèse H 2, selon laquelle, le degré de coarticulation, les valeurs de R<sup>2</sup> et l'espace de la pente X fonction de l'intersection-y des séquences VC seront réduits par rapport aux séquences CV, n'est validée que dans le cas de /d/ (où C1 = C2). Pour ce qui concerne le

degré de coarticulation (présenté par les valeurs de la pente), on observe que les valeurs de la pente sont plus élevées en contexte V1C que CV2 (l'inverse pour /d/ (quand C1 = C2)), ce qui est contraire aux résultats de Sussman et al. [4]. Pour ce qui concerne les valeurs de R2 (coefficient de régression), toutes les valeurs sont plus élevées en contexte V1C que CV2 (l'inverse pour /d/ (quand C1 = C2)), ce qui est également contraire aux résultats de Sussman et al. [4]. Les coordonnées dans l'espace acoustique du coefficient de l'équation du locus (pente X fonction de l'intersection-y) ne correspondent pas aux résultats de Sussman et al. [4] (l'espace acoustique diminue pour la coarticulation CV que VC).

L'hypothèse H 3, selon laquelle la consonne pharyngalisée constitue une classe distincte des autres consonnes, est validée (sauf dans la coarticulation V1C (où C1 = C2)) lorsqu'on observe la figure 6 (chaque point est une moyenne de 2 répétitions (de 2 C1 différents), avec 2 structures syllabiques différentes), confortant ainsi les résultats de Sussman et al. [3] et de Yeou [9].

Le tableau 3 montre un échantillon des valeurs formantiques de F2stable de V1 (des voyelles longues uniquement). On observe des différences de valeurs selon les contextes. En général, les valeurs de F2milieu (dans C1 = C2) sont plus basses que lorsque C1 = /ʔ/ (i.e. lorsque C1 = C2, la voyelle 'coarticule' davantage avec C2 (cf. également les coefficients de l'équation du locus dans tableaux 1 et 2)).

**Table 3 :** Valeurs formantiques de F2milieu de V1 (longues) dans 2 conditions de C1 (C1 = /ʔ/ ou /b d d<sup>ʕ</sup> g/).

V1	C2	V1							
		b		d		d <sup>ʕ</sup>		g	
	V2	C1= ?	C1= b	C1= ?	C1= d	C1= ?	C1=d <sup>ʕ</sup>	C1= ?	C1= g
i:	i:	2210	2219	2250	2246	2233	1920	2252	2253
	a:	2314	2332	2343	2327	2227	2106	2305	2347
	u:	2217	2192	2205	2416	1867	2081	2307	2252
a:	i:	1622	1626	1261	1601	1067	1079	1427	1632
	a:	1535	1527	1228	1392	1015	1075	1447	1496
	u:	1503	1464	1161	1480	1036	1014	1288	1592
u:	i:	719	882	885	864	1118	802	1055	761
	a:	864	719	901	635	1113	995	728	671
	u:	854	817	831	731	1102	908	731	756

#### 4. DISCUSSION

Bien que cette étude soit préliminaire, mais globalement, les résultats obtenus sont en accord avec ceux de la littérature : une corrélation entre les coefficients de l'équation et le lieu d'articulation des consonnes (H1) ; la consonne pharyngalisée /d<sup>ʕ</sup>/ constitue une classe distincte dans l'espace acoustique Pente X fonction de l'intersection-y (H3). Mais deux autres résultats ne suivent pas ceux de la littérature : a) le degré de coarticulation V1C est plus élevé que celui de CV2 (H2), et b) la consonne pharyngalisée /d<sup>ʕ</sup>/ n'exerce aucun blocage quant à la coarticulation avec la voyelle en VC (i.e. l'articulation secondaire ne bloque pas la coarticulation), tandis qu'en CV, la coarticulation est bloquée. Quelle est la raison de cette différence ?

Les quelques différences observées avec les données de la littérature (surtout avec les résultats de Sussman et al. [4]), nous conduisent à nous poser plusieurs questions : Est-ce que ces résultats constituent une exception due au locuteur analysé (i.e. des caractéristiques idiosyncrasiques spécifiques), ou est-ce que c'est imputable au dialecte jordanien ?

Il existe également des différences de valeurs de l'équation du locus quand on change C1. Globalement (et comme mentionné dans les résultats et dans les tableaux 1, 2 et 3), ces valeurs diminuent quand C1 = /ʔ/ contrairement à quand C1 = C2. Alors pourquoi cette différence ? Est-ce que C1 modifiant V1 va indirectement modifier les coefficients de l'équation du locus ?

Afin de généraliser les résultats obtenus, un travail plus important comprenant plusieurs dialectes arabes et plus de locuteurs (10 par dialecte) est en cours et servira à : 1) comparer les variabilités intra et interindividuelles lors de la coarticulation VC, CV et V-V et 2) généraliser, par la suite, les résultats pour proposer un modèle de coarticulation~coproduction.

#### 5. REMERCIEMENT

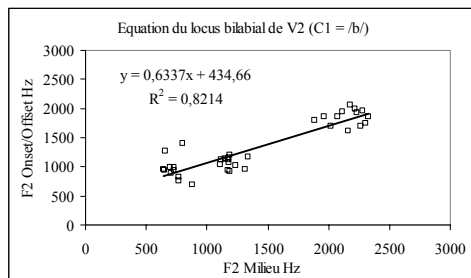
Je voudrais remercier René Carré, Golnaz Modarresi, Egidio Marsico et François Pellegrino pour les discussions fructueuses et leurs aides précieuses qui ont contribué à l'avancement de ce travail.

#### 6. BIBLIOGRAPHIE

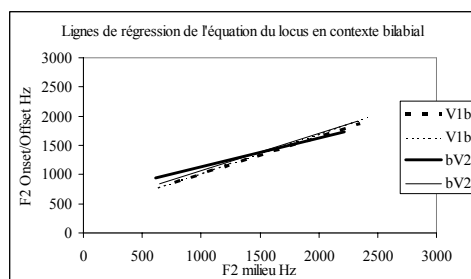
- [1] B. Lindblom, "On vowel reduction," *Report #29, The Royal Institute of Technology, Speech Transmission Laboratory, Stockholm, Sweden*. 1963.
- [2] H. M. Sussman, H. A. McCaffrey, and S. A. Matthews, "An investigation of locus equations as a source of relational invariance for stop place categorization," *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 90, pages 1309–1325, 1991.
- [3] H. M. Sussman, K. Hoemeke, and F. Ahmed, "A cross-linguistic investigation of locus equations as a relationally invariant descriptor for place of articulation," *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 94, pages 1256–1268, 1993.
- [4] H. M. Sussman, N. Bessell, E. Dalston, and T. Majors, "An investigation of stop place of articulation as a function of syllable position: A locus equation perspective" *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 101, pages 2826–2838, 1997.
- [5] G. Modarresi and H. M. Sussman, "The effect of syllable structure on bidirectional coarticulation" In *proceedings of 15<sup>th</sup> ICPHS*, Barcelona, Spain, pages 3197–3200, 2003.
- [6] D. Krull, "Second formant locus patterns as a

measure of consonant–vowel coarticulation,” *Phonetic Experimental Research at the Institute of Linguistics, University of Stockholm PERILUS V*, pages 43–61, 1987.

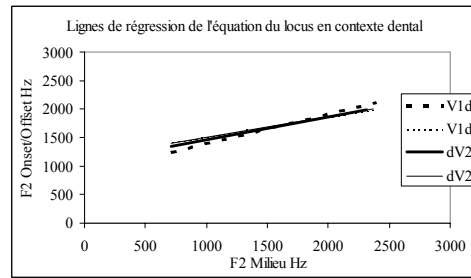
- [7] D. Krull, “Acoustic properties as predictors of perceptual responses: A study of Swedish voiced stops,” *Phonetic Experimental Research at the Institute of Linguistics, University of Stockholm PERILUS VII*, pages 66–70, 1988.
- [8] C. A. Fowler, “Invariants, specifiers, cues: An investigation of locus equations as information for place of articulation,” *Perception & Psychophysics*, vol. 55, pages 597–610, 1994.
- [9] M. Yeou, “Locus equation and the degree of coarticulation of arabic consonants” *Phonetica*, vol. 54, pages 187-202, 1997.
- [10] S. Chennoukh, R. Carré, and B. Lindblom, “Locus equations in the light of articulatory modeling” *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 102 (4), pages 2380-2389, 1997.
- [11] R. Bani-Yasin and J. Owens, “The Phonology of a Northern Jordanian Arabic Dialect”, in *Zeitschrift der Deutschen Morgenlandischen Gesellschaft*, Vol. 137(2), pages 297-331, 1987.
- [12] Y. Laprie, “Snorri, a software for speech sciences”, in *Esca workshop, Methode and tool innovations for speech science education*, Matisse, Londres, 1999.



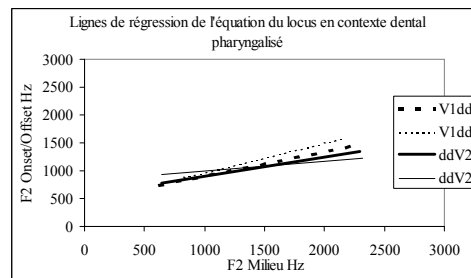
**Figure 1** : Représentation en nuage de points de la relation entre F2onset et F2milieu et la ligne de régression de la consonne /b/ de la coarticulation CV2, avec les valeurs de l'équation du locus



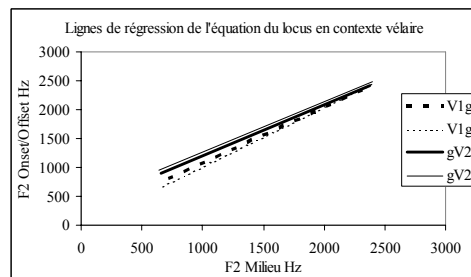
**Figure 2** : Représentation des 4 lignes de régression de la consonne /b/ dans le cas de : bV2 (ligne pleine), V1b (ligne pointillée), C1 = /ʔ/ (gras) et C1 = /b/ (normal).



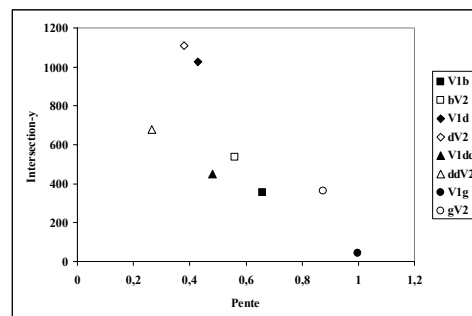
**Figure 3** : Représentation des 4 lignes de régression de la consonne /d/ dans le cas de: dV2 (ligne pleine), V1d (ligne pointillée), C1 = /ʔ/ (gras) et C1 = /d/ (normal).



**Figure 4** : Représentation des 4 lignes de régression de la consonne /dʕ/ (dd) dans le cas de: dʕV2 (ligne pleine), V1dʕ (ligne pointillée), C1 = /ʔ/ (gras) et C1 = /dʕ/ (normal).



**Figure 5** : Représentation des 4 lignes de régression de la consonne /g/ dans le cas de : gV2 (ligne pleine), V1g (ligne pointillée), C1 = /ʔ/ (gras) et C1 = /g/ (normal).



**Figure 6** : Représentation de l'espace acoustique de l'équation du locus : pente X fonction de l'intersection-y pour les 4 consonnes /b d dʕ(dd) g/ dans les séquences VIC et CV2, où 1) la consonne pharyngalisée /dʕ/ est distinguée des autres consonnes, et 2) les coordonnées de la coarticulation CV2 sont plus réduits que VIC.