

Equation de locus comme indice de distinction consonantique pharyngalisé vs non pharyngalisé en arabe

Mohamed Embarki*, Christian Guilleminot** & Mohamed Yeou***

*ICAR-Praxiling UMR 5191 CNRS-Montpellier III
Route de Mende, 34199 Montpellier Cedex 5, France
mohamed.embarki@univ-montp3.fr

**Centre Tesnières (EA 2283), Université de Franche-Comté, Besançon
christian.guilleminot@univ-fcomte.fr

*** Université Chouaib Doukkali, El-Jadida, Maroc
m_yeou@yahoo.com

ABSTRACT

Locus equations are linear regression functions derived by relating F2 onsets of different vowels to their corresponding steady states. This paper purports to investigate if locus equations can be strong phonetic descriptors of the consonantal contrast between pharyngealized and non-pharyngealized consonants in Arabic. Eight male Arabic speakers from eight different Arabic countries produced 24 #CV# tokens, where C was either non-pharyngealized [t], [d], [s] and [ð] or pharyngealized [ð^h] [t^h], [d^h], [s^h] and [ð^h]. Each consonant was followed by one of the three vowels [i], [u] and [a].

1. INTRODUCTION

La diversité des parlers populaires arabes utilisés dans l'aire arabophone retient l'attention des chercheurs depuis longtemps. Sur le plan phonétique, la variabilité sensori-motrice a débouché sur un classement en zones géographiques plus ou moins homogènes (Barkat [1] ; Sabhi [2]). Les traits phonologiques des parlers maternels sont détectés dans la production en arabe standard contemporain (ASC) et deviennent même des indices de reconnaissance régionale, tant au niveau acoustique (Sabhi [2]), qu'au niveau perceptif (Barkat [1]). Néanmoins, ces parlers possèdent des traits phonologiques qui font incontestablement leur unité. Le trait d'opposition consonantique pharyngalisé vs non pharyngalisé est à ce titre unificateur des parlers arabes, et plus largement de tout le groupe sémitique (Catherineau [3]). Or, l'actualisation en ASC de cette opposition consonantique n'en demeure pas moins étroitement liée à l'origine géographique du locuteur (Sabhi [2]).

2. COARTICULATION ET ÉQUATION DE LOCUS

L'équation de locus, une régression linéaire obtenue à partir de la relation entre la fréquence de F2 au début de la voyelle (F2onset) sur l'axe des ordonnées et la fréquence de F2 à la partie stable (F2mid) sur l'axe des abscisses - $F2_{onset} = k * F2_{mid} + c$ (où k et c sont la pente et l'ordonnée de la fonction de l'intersection-y) - a été utilisée à l'origine par Lindblom [4] comme

indicatrice du degré de coarticulation entre la consonne et la voyelle. La pente de l'équation de locus variant entre les extrema 0-1 témoigne de la coarticulation entre ces deux segments au sein de la syllabe. Une pente relativement plate est indicatrice d'un minimum de coarticulation entre les deux segments, F2onset étant dans ce cas insensible à la nature de la voyelle qui suit (résistance coarticulatoire maximale de l'articulation de la consonne aux effets de la voyelle) ; une pente relativement forte est indicatrice d'un maximum de coarticulation entre les deux segments, F2onset et F2mid ont la même fréquence (résistance coarticulatoire minimale de l'articulation de la consonne). Sussman et collaborateurs [5 et 6] ont confirmé que les équations de locus sont un indice important de lieu d'articulation car leurs pentes varient en fonction de ce dernier: /g/ > /b/ > /d/. Les auteurs ont trouvé que la consonne vélaire a une pente à peine plus forte que celle de la consonne labiale, l'intersection-y est plus faible pour cette dernière ; la consonne dentale présente une valeur d'intersection-y élevée mais une pente plus plate. D'autres chercheurs (Krull [7 et 8] ; Fowler [9]) ont montré que les pentes de ces équations indiquent plutôt le degré de coarticulation.

La validité du concept de l'équation du locus a été confirmée dans plusieurs langues comme le thaï, l'urdu, et l'arabe égyptien (Sussman et al. [6]), le français, l'anglais américain et le suédois (Molis et coll. [10]), l'anglais américain et le persan (Modarresi et al. [11]). Tabain et Butcher [12] ont expérimenté l'équation de locus dans la comparaison de deux langues aborigènes d'Australie très proches, le yanyuwa, le yindjibarndi, avec l'anglais australien. Les résultats de la littérature souvent similaires penchent pour une distinction nette entre deux groupes : un groupe de consonnes dentales et alvéolaires et un groupe de consonnes labiales et vélares.

3. LES CONSONNES PHARYNGALISÉES

Les consonnes pharyngalisées en ASC se distinguent de leurs correspondantes non pharyngalisées sur les plans moteur, acoustique et perceptif (Bonnot [13] ; Yeou [14]). Sussman et al. [6] ont montré que les consonnes pharyngalisées se distinguent de leurs

correspondantes par une pente plus faible et par des valeurs d'intersection-y plus basses. Les résultats de Yeou [14] sur l'ASC ont montré que les équations de locus permettent de distinguer les consonnes non pharyngalisées [t], [d], [s] et [ð] des consonnes pharyngalisées [t^ʕ], [d^ʕ], [s^ʕ] et [ð^ʕ], lesquelles émergent comme une classe distincte ayant les pentes les plus faibles et résistant à la coarticulation des voyelles adjacentes. Etant donné que l'ASC n'est pas une langue maternelle et considérant que l'équation de locus apparaît dès l'émergence de la coarticulation avec l'apparition des premiers mots, vers un an (Sussman et al. [15]), il est possible de détecter des différences de coarticulation en intégrant des locuteurs issus de régions différentes du Monde arabe. Notre hypothèse est que des locuteurs arabophones originaires de pays différents présenteront des équations de locus différentes, aussi bien entre groupes de consonnes (pharyngalisées vs non pharyngalisées) qu'entre consonnes du même groupe.

4. MÉTHODOLOGIE

Ont participé à cette expérience huit locuteurs arabophones originaires de huit pays arabes différents (Maroc, Algérie, Libye, Soudan, Liban, Jordanie, Arabie Saoudite et Koweït). Tous les locuteurs sont de sexe masculin, âgés de 25 à 40 ans et suivant des études à l'université de Franche-Comté (Besançon) et de Paul-Valéry (Montpellier). Chaque locuteur a lu trois fois le corpus de 24 mots en ASC où la syllabe CV qui fait l'objet de cette étude est médiane, [#CV#]. La consonne [C] est occupée en contexte non pharyngalisé par [t], [d], [s] ou [ð] et en contexte pharyngalisé par [t^ʕ], [d^ʕ], [s^ʕ] ou [ð^ʕ]; la voyelle [V] est occupée par [i], [u] ou [a]. Les mots du corpus ont été insérés dans une phrase porteuse du type [qul...ljawm] (dis... aujourd'hui). Un ensemble de 576 mots a été segmenté et étiqueté sous PRAAT [(8 consonnes x 3 voyelles x 3 répétitions x 8 locuteurs =576)]. Tous les locuteurs ont été enregistrés selon la même procédure, au laboratoire de phonétique de Besançon et à l'Atelier des Sciences du Langage de Montpellier. Les lexèmes ont tous été segmentés et les mesures de F2onset et F2voyelle ont été calculées manuellement. Les valeurs de F2onset ont été relevées sur la valeur la plus ample du début de la voyelle; les valeurs de F2voyelle ont été relevées au milieu de la voyelle et dans la mesure du possible sur une partie stable.

5. RÉSULTATS

Les résultats du groupe consignés dans table 1 (ci-dessous) sont relativement conformes à la littérature, la pente des consonnes pharyngalisées est plus faible comparativement à celles des consonnes non

pharyngalisées, la valeur de l'intersection-y a tendance à y être plus faible.

5.1. Résultats globaux

Table 1 : valeur de l'intersection-y (inter-y), de la pente et du coefficient de régression pour 8 locuteurs.

C	Non pharyngalisé				pharyngalisé			
	t	d	s	ð	t ^ʕ	d ^ʕ	s ^ʕ	ð ^ʕ
Inter-y	53	57	52	41	57	47	32	439
	0.6	8.6	4.3	0.5	0.3	8.8	5.1	.17
	7	7	3	0	3	3	4	
pente	0.7	0.6	0.7	0.7	0.4	0.5	0.6	0.4
	50	62	52	41	73	40	49	87
R ²	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8
	49	84	48	03	83	68	85	39

Les calculs ANOVA à double-facteurs à mesures répétées avec F2onset comme variable dépendante et F2voyelle comme régresseur montrent un effet significatif de la pharyngalisation sur la pente [F(1, 64) =27.03; p<0.001]. La valeur moyenne de la pente est plus forte dans [t] (0.75) que dans [t^ʕ] (0.47), les différences sont significatives [F(1, 7)=21.23; p=0.002] (cf. figures n° 1 et 2 ci-après). Entre [ð] et [ð^ʕ] des différences nettes de pente sont observables, respectivement 0.74 contre 0.48, les différences sont significatives [F(1, 7)=67.03, p<0.001]. Si la consonne voisée [d] présente une pente également plus forte que sa correspondante pharyngalisée [d^ʕ], respectivement 0.66 et 0.54, les différences ne sont pas significatives [F(1, 7)=4.15, p=0.081] (cf. figures n° 3 et 4 ci-après). Il en est de même pour les fricatives alvéolaires [s] et [s^ʕ], la pente de la consonne pharyngalisée est relativement plus plate (0.64 contre 0.75 pour [s]), les différences ne sont pas significatives non plus [F(1, 7) =5.86, p=0.52].

Si globalement, les moyennes de l'intersection-y des consonnes pharyngalisées sont plus basses que celles des consonnes non pharyngalisées, l'ANOVA n'a pas montré d'effet significatif de la pharyngalisation [F(1, 64)=0.39; p=0.54]. Comme le montre la figure 5, deux groupes homogènes de consonnes émergent quand on choisit de présenter en nuages de points les valeurs de l'intersection-y et les valeurs de pente : les consonnes non pharyngalisées ont des valeurs de pente globalement plus élevées que leurs correspondantes pharyngalisées, les premières ont une densité de valeurs importante entre 0.7 et 0.9, les secondes entre 0.4 et 0.6. Si le graphique montre qu'il n'existe pas de réelle zone de chevauchement entre les deux groupes de consonne, [s^ʕ] présente cependant des valeurs qui s'intègrent parfaitement dans le groupe des consonnes non pharyngalisées.

Pour les deux groupes de consonnes, Yeou [16] a trouvé des valeurs de pente différentes dans la production en ASC de 9 locuteurs originaires du

Maroc ($[t^s]=0.37$, $[d^s]=0.31$, $[s^s]=0.35$ et $[\delta^s]=0.22$; $[t]=0.66$, $[d]=0.48$, $[s]=0.56$ et $[\delta]=0.46$). Outre les différences statistiquement significatives entre les consonnes non pharyngalisées et leurs correspondantes pharyngalisées, Yeou [16] a trouvé des différences significatives entre $[t]$, $[d]$ et $[s]$. Si les équations de locus des consonnes non pharyngalisées dans notre étude sont légèrement différentes ($[t]=0.75$, $[d]=0.66$, $[s]=0.75$ et $[\delta]=0.74$), les différences ne sont cependant pas significatives. Dans le groupe des consonnes pharyngalisées, la comparaison montre que les pentes moyennes de $[s^s]$ (0.64) se distinguent de celles des autres consonnes pharyngalisées ($[t^s]=0.47$, $[d^s]=0.54$, et $[\delta^s]=0.48$), les différences étant statistiquement significatives. Outre l'absence de différences significatives entre d'une part certaines consonnes non pharyngalisées et leurs correspondantes pharyngalisées et d'autre part entre certaines consonnes du même groupe, nos résultats révèlent des équations de locus élevées pour des consonnes alvéolaires. Cette différence est en partie liée à l'endroit où sont prises les valeurs de F2onset, première résonance de F2 et non dans le burst.

5.2. Variabilité inter-locuteur

Les résultats globaux cachent une extrême variabilité inter et intra locuteur. Les calculs ANOVA à mesures répétées montrent un effet significatif de la pente selon le type de consonnes $[F(3, 39)=2.10$; $p=0.12]$, ce qui révèle une très grande variabilité intra-sujet et cette variabilité est très significative. La variabilité inter-locuteur est, elle aussi, importante. Elle est sans aucun doute accentuée par l'origine géographique des locuteurs (figures 6 et 7). Toutefois, en l'absence de nombre suffisant de locuteurs par région, les données présentées dans notre ne peuvent être qu'indicatives.

CONCLUSION

Comment les Arabophones traitent la variabilité de contexte phonétique et retrouvent dans le signal de parole des représentations stables, telle est la question qui est posée *in fine* dans cette étude utilisant l'équation de locus comme degré de coarticulation au sein de la syllabe entre la consonne (pharyngalisée vs non pharyngalisée) et la voyelle adjacente. Nous avons montré que cette équation permet de distinguer les deux groupes de consonnes. Si nous n'avons observé des différences statistiquement significatives que sur deux couples de consonnes sur quatre, les consonnes pharyngalisées présentent des valeurs de pente relativement basses. L'équation de locus ne permet pas des distinctions nettes et ordonnées à l'intérieur de chaque groupe de consonnes. Globalement, notre étude révèle des équations de locus élevées pour des consonnes dentales/alvéolaires, pharyngalisées ou non pharyngalisées. Là où la littérature indique des valeurs autour de 0.50 pour le groupe de consonnes non pharyngalisées, nos résultats sont autour d'une

moyenne de 0.75. Et là où l'étude de Yeou [14] révèle une moyenne de pente pour les consonnes pharyngalisées autour de 0.3, nos résultats sont autour de 0.57, avec une pointe à 0.64 pour $[s^s]$. Une des raisons tient à la méthode de mesure : la résonance de F2 dans l'explosion ou dans la friction. Cette méthode a été utilisée dans Modarresi et al. [15]. Elle génère des pentes moins raides pour $[t]$ et $[d]$, respectivement 0.23 et 0.24. Son application reste difficile dans le cas de $[s]$, ce qui explique les valeurs élevées de cette consonne dans Yeou [14]. Une autre raison tient à l'utilisation de voyelles brèves qui sont connues pour donner des pentes plus élevées.

La variabilité inter-sujet de l'équation de locus esquisse deux tendances qui restent à confirmer. La première concerne la relation variable au sein de la syllabe entre C et V en fonction du dialecte maternel. La seconde concerne le groupe de consonnes dentales/alvéolaires qui est en train d'évoluer vers une résistance moindre des consonnes aux effets de la voyelle, montrant ainsi un chevauchement plus grand des gestes articulatoires de la consonne et de la voyelle.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. Barkat. Détermination d'indices acoustiques robustes pour l'identification automatique des parlers arabes. *Langues et Linguistique* : 7, 47-75, 2001.
- [2] N. Sabhi. La variabilité dialectale arabe peut-elle être un moyen de reconnaissance de l'origine géographique ? Les fricatives interdentes, outils d'identification. *Revue Parole*, 2, 161-181, 1997.
- [3] J. Cantineau. *Etude de Linguistique Arabe*, Klincksieck, Paris, 1960.
- [4] B. Lindblom. On vowel reduction. *Report 29, The Royal Institute of Technology, Speech Transmission Laboratory*, Stockholm, 1963.
- [5] H.M. Sussman, H.A. McCaffrey and S.A. Mathews. An investigation of locus equations as a source of relational invariance for stop place of articulation. *JASA*: 90, 1309-1325, 1991.
- [6] H.M. Sussman, K. Hoemeke and F. Ahmed. A cross-linguistic investigation of locus equations as a relationally invariant descriptor of place of articulation. *JASA*: 94, 1256-1268, 1993.
- [7] D. Krull. Acoustic properties as predictors of perceptual responses: a study of Swedish voiced stops. *Perilus*: 7, 66-70, 1988.
- [8] D. Krull. Second formant locus patterns and consonant-vowel coarticulation in spontaneous speech. *Perilus*: 10, 87-108, 1989.
- [9] CA. Fowler. Invariants, specifiers, cues: An investigation of locus equations as information for place of articulation. *Perception and Psychophysics*: 55, 597-610, 1994.
- [10] M.R. Molis, B. Lindblom, W. Castelman and R. Carré. Cross-language analysis of VCV coarticulation. *JASA*: 95, 2925, 1994.

[11] G. Modarresi, H.M. Sussman, B. Lindblom and E. Burlingame. Locus equation encoding of stop place: revisiting the voicing/VOT issue. *Journal of Phonetics*: 33, 101-113, 2005.

[12] M. Tabain and A. Butcher. Slope values as acoustic measures of coarticulation: a cross-language comparison of stop consonants. *Journal of Phonetics*: 27, 333-357, 1999.

[13] J.-F. Bonnot. *Contribution à l'Etude des Consonnes Emphatiques de l'Arabe à partir de Méthodes Expérimentales*. Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle, Université des Sciences Humaines de Strasbourg, 1976.

[14] M. Yeou. Locus equations and the degree of coarticulation of Arabic consonants. *Phonetica*: 54, 187-202.

[15] H/M. Sussman, K. Hoemeke and H. McCaffrey. Locus equations as an index of coarticulation and place of articulation distinctions in children. *Journal of Speech and Hearing Research*: 35, 397-420, 1992.

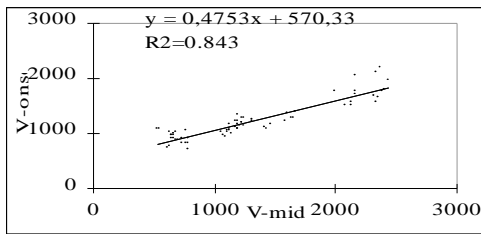


Figure 1 : Ligne de régression et valeurs de F2onset et F2voyelle de la consonne [tʰ]

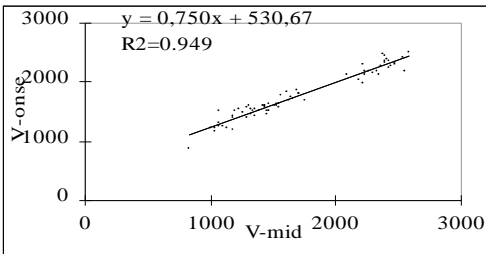


Figure 2 : Ligne de régression et valeurs de F2onset et F2voyelle de la consonne [t]

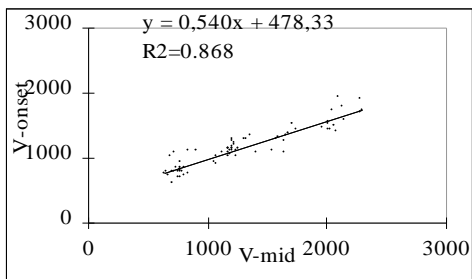


Figure 3 : Ligne de régression et valeurs de F2onset et F2voyelle de la consonne [dʰ]

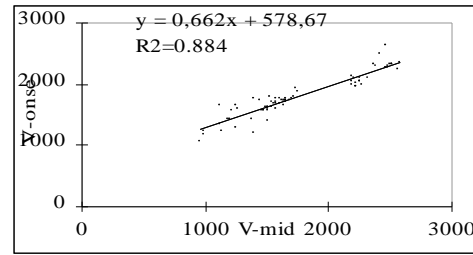


Figure 4 : Ligne de régression et valeurs de F2onset et F2voyelle de la consonne [d]

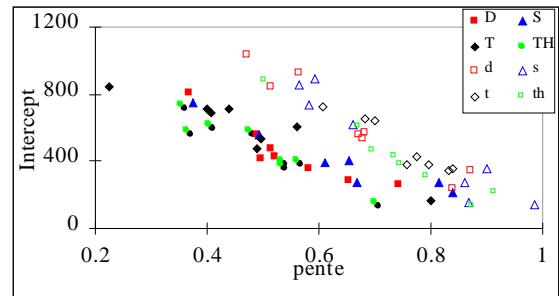


Figure 5 : valeurs de l'intersection-y (ordonnées) et valeur de la pente (abscisses) des 8 consonnes (D=[dʰ], T=[tʰ], S=[sʰ], TH=[θʰ] et th=[ð]).

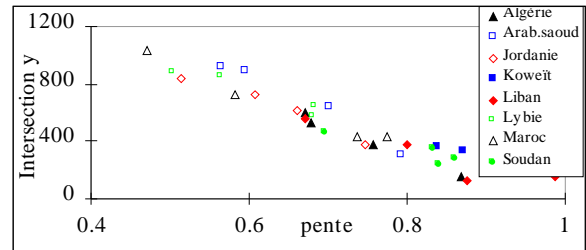


Figure 6 : intersection-y et pente pour les 4 consonnes non pharyngalisées chez les 8 locuteurs.

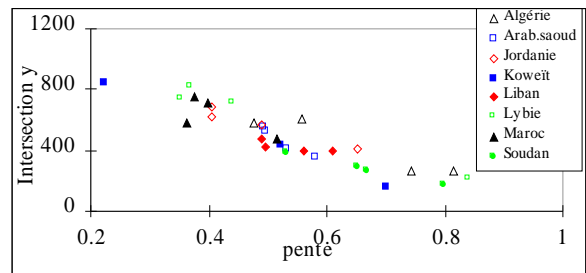


Figure 7 : l'intersection-y (ordonnées) et la valeur de la pente (abscisses) pour les 4 consonnes pharyngalisées chez les 8 locuteurs.