

Indices acoustiques de la coarticulation bidirectionnelle dans les séquences VCV en arabe

Mohamed Embarki

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

ABSTRACT

This study assessed anticipatory and carry-over coarticulation effects in contemporary standard Arabic. VCV pairs with non pharyngealized dental-alveolar consonants (/t/, /d/, /s/, /ð/) and their pharyngealized cognates (/t^ʕ/, /d^ʕ/, /s^ʕ/, /ð^ʕ/) were used. Each consonant was inserted in symmetric vocalic contexts [iCi], [uCu] and [aCa]. F2 was measured at V1mid, V1offset, V2onset and V2mid. The results showed carry-over effects with non pharyngealized consonants and anticipatory coarticulation in pharyngealized context.

1. INTRODUCTION

Le système de l'arabe standard contemporain (ASC) fonctionne avec 3 voyelles orales brèves (/i/, /u/, /a/) et trois longues (/i:/, /u:/, /a:/), lesquelles peuvent être décrites avec seulement quatre traits du modèle *SPE* ([+haut], [+arrière], [+arrondi], [+long]). Les articulations consonantiques engendrent une modification des voyelles, tant au niveau physiologique que physique (Al-Ani [1], Ghazali [2], Znagui [3]). Les consonnes pharyngalisées /t^ʕ/, /d^ʕ/, /s^ʕ/, /ð^ʕ/ sont décrites comme les plus influentes sur leur entourage vocalique. Réalisées avec une articulation principale dentale/alvéolaire et une articulation secondaire avec une rétractation du dos de la langue vers la paroi pharyngale (Al-Ani [1], Bonnot [4]), les consonnes pharyngalisées abaissent les voyelles contiguës fermées (/i/, /i:/, /u/, /u:/) et entraînent les voyelles ouvertes (/a/ et /a:/) vers une articulation postérieure, modifiant ainsi la fréquence de leurs deux premiers formants, F1 et F2 (Ghazali [2], Yeou [5]).

Comment cette variabilité est-elle représentée au niveau phonologique ? La littérature ne permet pas encore une réponse satisfaisante. Car dans le domaine arabe, les aspects cognitifs et physiques de la production de la parole continuent globalement d'être explorés de manière cloisonnée dans deux domaines qui n'interagissent que très rarement : d'un côté le domaine dont les objets premiers sont les unités discrètes et abstraites du système, les phonèmes ; et de l'autre celui confronté aux dimensions variables du signal de parole.

La coarticulation, un objet d'étude approchable des niveaux linguistique, moteur, acoustique, perceptif, peut apporter une meilleure connaissance non seulement de la production, mais aussi de la programmation et de la représentation de la parole en arabe.

2. REPRÉSENTER LA COARTICULATION

Farnetani et Recasens [6] montrent que les données de la littérature oscillent entre aspects universels et contraintes linguistiques spécifiques. D'une langue à l'autre, un même segment n'est aucunement influençable de manière similaire par les segments adjacents. Aussi, les segments de la même langue ne résistent-ils pas tous de la même manière à la coarticulation. A l'appui de multiples comparaisons à l'issue desquelles les consonnes [s] et [z] paraissent les mieux résistantes aux sons contigus et non contigus, Bladon et Al-Bamerni [7] ont proposé le concept de résistance articuloire (Articulatory Resistance), doublé d'un coefficient pour dépasser la représentation binaire des traits et pour mieux rendre compte de l'aspect gradué de la coarticulation. Le concept de sous-spécification (underspecification), autre aspect de représentation phonologique de la coarticulation, précise que les traits jouent plusieurs rôles aux niveaux lexical, phonologique et phonétique, et que certains traits superflus lexicalement et phonologiquement sont présents phonétiquement. Le modèle proposé par Keating [8] tient compte de la sous-spécification tant au niveau phonologique que phonétique. L'étude de Cohn [9] sur la nasalité montre que les voyelles de l'anglais qui sont sous-spécifiées par rapport à ce trait passent progressivement en fonction du contexte de [-nasal] à [+ nasal]. Clements [10] montre que trait tendu/relâché vient au renfort de l'opposition bref vs long dans certaines variétés du General American English (GAE), les voyelles longues réalisées tendues et les brèves relâchées. La quantité qui est phonologique est actualisée avec la tension, trait purement phonétique.

3. LA COARTICULATION VCV

La coarticulation est décrite dans la littérature comme pouvant être anticipatoire (gauche-droite) reflétant une activité de pré programmation du segment, ou rémanente (droite-gauche) consécutive à des limitations mécaniques et à l'inertie des organes articulateurs (Daniloff et Hammarberg [11] ; Farnetani et Recasens [6] ; Recasens [12]). Plusieurs aspects ont été examinés, moteur, acoustique et perceptif. Du point de vue moteur, les éléments les plus étudiés concernent la coarticulation labiale, linguale, vélopharyngale et laryngale ; d'un point de vue acoustique, on y étudie la fréquence des formants et la durée. S'appuyant sur l'étude d'Öhman [13] à propos des séquences VCV montrant que la production des trois segments n'était pas une suite linéaire de gestes - les voyelles co-articulent l'une avec l'autre à l'instar des gestes pour une diphtongue sur lesquels les gestes

consonantiques sont surimposés- la littérature utilise le concept de coarticulation de voyelle à voyelle (V-to-V) pour désigner les effets de la voyelle sur les transitions trans-consonantiques. Pour ne présenter que la partie linguale, Recasens [11] montre que le degré de coarticulation de V-à-V dans les contextes VCV et VCVCV est dépendant de la surface de la langue mobilisée dans l'articulation de la consonne, plus le contact est important et moins il y a d'effets entre les voyelles. Selon le modèle de « degré de contraintes articulatoires » (DAC), Recasens et al. [14] indiquent que les consonnes qui requièrent une partie importante du dos de la langue sont plus contraintes que celles qui requièrent la pointe de la langue ou les lèvres, le degré de contrainte pour les occlusives va décroissant ([k]>[t]>[p]). Dans la séquence VCV où la consonne est moins contrainte, la coarticulation peut être bidirectionnelle. Toutefois, dans la séquence [ini] comparée à [ana], la voyelle [i] favorise la coarticulation rémanente de C-à-V, car avec une consonne non contrainte dentale/alvéolaire, [i] mobilisant le dos de la langue, bloque toute stratégie anticipatoire. Au niveau labial, les travaux sur le français ont montré que la labialité de V2 dans la séquence VCV est présente dès la fin de V1 (Sock et Vaxelaire. [15]), toutefois la coarticulation V-à-C et de C-à-V peut être aussi bien anticipatoire que rémanente, dépendant du trait la voyelle [+ arrondie] (Abry et Lallouache, [16]). Au niveau acoustique, les travaux de Sussman et ses collaborateurs ([17] et [18]) ont montré que les équations de locus sont indicatives du lieu d'articulation de la consonne. Modarresi et al. [19] ont exploré la bidirectionnalité de la coarticulation, anticipatoire et rémanente dans les séquences V.CV et VC.V. Les mesures de F2 prises aux frontières de C – F2 offset dans V1C et F2 onset dans CV2 – montrent que les effets de coarticulation rémanente dépassent les effets anticipatoires en syllabe fermée, alors que les effets anticipatoires ne dépassent les effets rémanents en syllabe ouverte qu'en contexte vocalique antérieur ([i] et [e]), avec le contexte vocalique postérieur ([u] et [ɔ]) les effets gauche-droite et droite-gauche se neutralisent.

Nous explorerons ici d'un point de vue acoustique la coarticulation V-à-C et C-à-V dans les séquences VCV en ASC et vérifieront l'impact de l'opposition consonantique pharyngalisé vs non pharyngalisé.

4. MÉTHODOLOGIE

Les séquences VCV qui sont analysées ici sont extraites d'un corpus de 24 mots en ASC. Nous n'avons pas pu faire d'opposition de contexte vocalique fixe vs changeant (Recasens et al. [14]), nous avons préféré un contexte symétrique, [iCi], [uCu], [aCa]. Le contexte consonantique choisi est dental/alvéolaire, car selon le concept de résistance articulatoire (Bladon et Al-Bamerni [7]), et outre le fait que ce contexte est celui qui jouit du degré de résistance le plus élevé parmi les consonnes, il est aussi celui qui exerce le plus d'effet coarticulatoire sur les segments adjacents (Farnetani et Recasens [20]). Le contexte consonantique choisi dans les séquences

VCV est soit pharyngalisé ([t^h], [d^h], [s^h] et [ð^h]) ou non pharyngalisé ([t], [d], [s] et [ð]).

Huit locuteurs arabophones de sexe masculin, âgés de 25 à 40 ans, originaires de huit pays (Maroc, Algérie, Libye, Soudan, Liban, Jordanie, Arabie Saoudite et Koweït) ont été enregistrés. Les 24 mots ont été mis dans une phrase porteuse du type [qul...ljawm] (dis... aujourd'hui). Chaque locuteur a lu trois fois le corpus, un ensemble de 576 mots a été segmenté et étiqueté sous PRAAT [(8 consonnes x 3 voyelles x 3 répétitions x 8 locuteurs =576).

Les mesures de F2 ont été prises conformément à la littérature (Recasens [21], Modarresi et al. [19]) au milieu de V1 (V1mid) et à la fin de celle-ci (V1offset), au début et au milieu de V2 (respectivement V2onset et V2mid). Les mesures de V1mid et V2mid ont été prises à 50% du cycle temporel de la voyelle coïncidant souvent avec la partie stable de celle-ci ; les mesures de V1offset et V2onset ont été prises respectivement sur la dernière et la première résonances visible de F2.

4. RÉSULTATS

Les résultats portent sur 2304 mesures de F2, la moyenne a été calculée pour chacune des trois voyelles indépendamment du contexte consonantique, pharyngalisé ou non pharyngalisé (table 1 ci-après).

Table 1 : Valeurs moyennes de F2 (en Hz) chez 8 locuteurs arabophones (Moy=moyenne ; E-T=écart-type)

V		V1mid	V1offset	V2onset	V2mid
[i]	Moy	2228	1857	1862	2115
	E-T	134	347	395	314
[u]	Moy	927	1114	1127	969
	E-T	137	280	309	256
[a]	Moy	1333	1330	1364	1363
	E-T	190	255	260	213

Des calculs ANOVA ont été effectués sur les points-clefs (V1mid vs V1offset ; V1offset vs V2onset ; V2onset vs V2mid ; V1mid vs V2mid) afin de vérifier l'égalité des variances indépendamment du point de mesure de F2 - partie stable (mid) ou onset/offset de la transition – et du contexte consonantique. Les effets sont très significatifs pour la voyelle [a], (a1mid vs a1offset [F (1, 191) =7.895 ; p<0.0001] ; a1offset vs a2onset [F (1, 191) =10.711 ; p<0.0001] ; a1mid vs a2mid [F (1, 191) =11.807 ; p<0.0001] ; a2onset vs a2mid [F (1, 191) =16.621 ; p<0.0001], autrement dit les effets sur la voyelle sont mineures. Les points-clefs de la voyelle [i] ne sont pas homogènes, deux sont hautement significatifs (i1offset vs i2onset [F (1, 191)=10.711 ; p<0.0001] et i2onset vs i2mid [F (1, 191)=5.162 ; p<0.0001]) et les deux autres non significatifs (i1mid vs i1offset [F (1, 191)=1.196 ; p=0.206] ; i1mid vs i2mid [F (1, 191) =1.181 ; p=0.220]. Hormis u1mid vs u1offset qui n'est pas significatif [F (1, 190)=1.102 ; p=0.329], les trois autres points-clefs sont très significatifs (u1offset vs

u2onset [F (1, 190)=8.476 ; p<0.0001] ; u1mid vs u2mid [F (1, 190)=1.980 ; p<0.001] ; u2onset vs u2mid [F (1, 190)=7.594 ; p<0.0001]). Les calculs ANOVA double-facteurs à mesures répétées avec les différents points-clefs comme variable dépendante et la consonne comme regressor montrent des effets très significatifs. Sur 96 ANOVA (4 points-clefs x 3 voyelles x 8 consonnes), seulement 27 se sont révélées non significatives, celles portant sur un point de chaque voyelle (V1offset vs V2onset = 11 et V1mid vs V2mid = 9 contre V1mid vs V1offset = 5 et V2onset vs V2mid = 2). Il apert donc que le contexte consonantique exerce des effets coarticulatoires importants sur la fréquence de F2.

Modarresi et al. [19] ont évalué les effets de la coarticulation sur la base d'un Hz calculé entre V1offset et V2onset avec des voyelles fixes et changeantes. Notre corpus ne contient que des contextes vocaliques fixes (iCi, uCu, aCa). Aussi, le Hz sera calculé à partir de la somme des deux points-clefs de V1 et la somme des deux points-clefs de V2, i.e. $Hz = [(V1mid + V1offset) - (V2onset + V2mid)]$. Etant donné que l'onset et l'offset de la voyelle sont influençables par le contexte consonantique et la partie stable de la voyelle pas ou peu influençable, si Hz est positif, la coarticulation est anticipatoire (anticipatoire > rémanente) ; s'il est négatif, la coarticulation est rémanente (rémanente > anticipatoire) ; si Hz est compris entre -20 et +20, les deux effets se neutralisent (anticipatoire <> rémanente).

Les Hz ont été comparés en fonction de la voyelle et en fonction de la consonne. Les calculs ANOVA à double-facteurs à mesures répétées avec [V1mid + V1offset] - (V2onset + V2mid) comme variable dépendante et le facteur pharyngalisé vs non pharyngalisé comme regressor montrent un effet hautement significatif pour les voyelles fermées [i] [F (1, 95)=0.924 ; p=0.03] et [u] [F (1, 95)=1.314 ; p=0.029] et faiblement significatif pour la voyelle ouverte [a] [F (1, 95)=0.811 ; p=0.04]. Les Hz moyens selon la nature de la voyelle montrent que la coarticulation rémanente est globalement majoritaire, elle n'est anticipatoire qu'avec [i] et [u] en contexte pharyngalisé.

Si l'on examine les données en tenant compte de la consonne et de la voyelle, la tendance est plus nuancée. En fonction de la nature de la consonne, pharyngalisée vs non pharyngalisée, les effets de coarticulation changent de direction (cf. table 2 ci-après). Les douze Hz moyens (3 voyelles x 4 consonnes) en contexte non pharyngalisé indiquent que les effets rémanents dépassent les effets anticipatoires, respectivement dans 9 cas contre 1, les deux cas restants sont neutres. En revanche, les effets anticipatoires priment les effets rémanents (9 contre 2) en contexte pharyngalisé. Les deux occlusives non pharyngalisées [t] et [d] s'accompagnent d'effets rémanents plus importants que les effets anticipatoires dans les trois contextes vocaliques [i], [u], [a]. Pour la consonne [s], les effets sont anticipatoires avec [i], rémanents avec [u] et neutralisés avec [a]. Pour la consonne [ð], la coarticulation est rémanente avec [i] et

[a] et neutre avec [u]. Ces résultats sont conformes à la littérature, Modarresi et al. [19] ayant montré que les consonnes alvéolaires en syllabe ouverte montraient davantage d'effets rémanents que les labiales ou les vélares. Recasens [14] a montré que la voyelle [i] comparée à [a], dans la séquence VCV favorise la coarticulation rémanente de C-à-V puisque la consonne dentale/alvéolaire est non contrainte et que [i] requiert l'élévation du *dorsum*, bloquant toute stratégie anticipatoire. Nos résultats montrent que [i] est associé dans 3 contextes sur 4 à des effets rémanents ; le cas de [s] est conforme au principe de résistance articulaire (Bladon et Al-Bamerni [7]). Le cas de [isi] où les effets anticipatoires priment les rémanents n'est pas étonnant, car selon Farnetani et Recasens [20] le segment à résistance articulaire élevée exerce aussi une influence élevée sur les segments contigus.

Table 2 : $Hz = [(V1mid + V1offset) - (V2onset + V2mid)]$ et sens de coarticulation dans les séquences VCV ([An>Re]= anticipatoire>rémanente ; [Re>An]= rémanente>anticipatoire ; [An<>Re]=équilibré) (*=p<0.01 ; **=p<0.001 ; #=non significative)

C	V	Hz	An >R e	Re >A n	An < Re	C	V	Hz	An >R e	Re >A n	An < Re
t	i	-282**	4	20	1	t ^v	i	199* *	14	8	0
	u	-233**	4	20	0		u	159* *	16	3	2
	a	-119**	5	19	0		a	0**	9	10	5
			0	3	0				2	0	1
d	i	-145**	3	17	4	d ^v	i	330* *	18	6	0
	u	-494**	1	22	1		u	107* *	18	6	0
	a	-186*	1	22	0		a	-91*	4	20	0
			0	3	0				2	1	0
s	i	171#	14	10	0	s ^v	i	387#	16	9	0
	u	-112**	6	15	3		u	101* *	15	8	1
	a	-16#	13	11	0		a	42#	14	8	2
			1	1	1				3	0	0
ð	i	-140**	2	22	2	ð ^v	i	357* *	17	6	0
	u	-2#	15	9	1		u	50#	15	9	0
	a	-69#	4	20	0		a	-73#	7	17	0
			0	2	1				2	1	0

Pour les consonnes pharyngalisées, les effets sont anticipatoires dans les trois contextes vocaliques pour [s^v], et seulement avec [i] et [u] pour les consonnes [t^v], [d^v], [ð^v]. La voyelle [a] semble bloquer les effets anticipatoires de la consonne pharyngalisée. Cela est dû à une plus grande compatibilité entre l'aperture de la voyelle et la rétractation du dos de la langue vers la paroi pharyngale (Al-Ani [1], Ghazali [2], Znagui [3], Bonnot [4]).

La fréquence moyenne des quatre points-clefs des voyelles (V1mid ; V1offset ; V2onset ; V2mid) en fonction du contexte consonantique non pharyngalisé et pharyngalisé révèle que quand la consonne est non pharyngalisée les effets de coarticulation anticipatoires et rémanents s'arrêtent avec la transition de V2. En revanche, quand la consonne est pharyngalisée, ses effets anticipatoires sont très marqués aux frontières de la consonne (V1offset et V2onset) et se prolongent jusqu'au

milieu de V2. Il est fort probable que les mêmes effets puissent apparaître bien avant V1 et se prolongent au-delà de V2.

CONCLUSION

Nous avons présenté dans cette étude exploratoire quelques aspects acoustiques partiels de la coarticulation VCV en contexte consonantique non pharyngalisé vs pharyngalisé. Les résultats montrent principalement les effets anticipatoires de la consonne pharyngalisée et les effets rémanents des consonnes dentales/alvéolaires non pharyngalisées. Ces indices acoustiques témoignent de stratégies différentes de programmation et de production de cette opposition consonantique. Bien que non traités ici, ces aspects révèlent indirectement une représentation linguistique différente de cette opposition. Les voyelles de l'arabe sous-spécifiées par rapport au trait [+bas], passent en contexte pharyngalisé progressivement de [+haut] à [-haut], de [0] à [-bas] pour [i] et [u] ; de [-arrière] à [+arrière] pour la voyelle [a], celle-ci nécessitant les traits [-haut] et [+bas] pour éviter la confusion avec [u].

BIBLIOGRAPHIE

- [1] S.H. Al-Ani. *Arabic phonology*. Mouton, The Hague, 1970.
- [2] S. Ghazeli. *Back consonants and backing articulation in Arabic*. Ph.D. Dissertation, University of Texas, 1977.
- [3] I. Znaoui. *Etudes phonétique et perceptive des voyelles de l'arabe standard moderne*. Thèse de Doctorat, université Paris III, 1995.
- [4] 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.
- [5] M. Yeou. Locus equations and the degree of coarticulation of Arabic consonants. *Phonetica*: 54, 187-202.
- [6] E. Farnetani and D. Recasens. Coarticulation models in recent speech production theories. In: W.J. Hardcastle and N. Hewlett (eds.), *Coarticulation. Theory, data and techniques*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pages 31-65, 1999.
- [7] R.A.W. Bladon and A. Al-Bamerni. Coarticulation resistance in English /l/. *Journal of Phonetics*: 4, 137-150, 1976.
- [8] A.C. Cohn. Phonetic and phonological rules of nasalization. *UCLA Working Papers in Phonetics*, 76, 1990.
- [9] P.A. Keating. Universal phonetics and the organization of grammars. In: V. Fromkin (ed.), *Phonetic linguistics: Essays in honor of Peter Ladefoged*. Academic Press, Orlando, pages 115-132, 1985.
- [10] G.N. Clements. Les diphtongues brèves en anglais : fonction phonétique du trait tendu/relâché. In: J.-P. Angoujard et S. Wauquier-Gravelines (eds.), *Phonologie. Champs et perspectives*, ENS Editions, Lyon, pages 35-55, 2003.
- [11] R. Daniloff and R. Hammarberg. On defining coarticulation. *Journal of Phonetics*: 1, 239-248, 1973.
- [12] D. Recasens. Vowel-to-vowel coarticulation in Catalan VCV sequences. *JASA*: 73, 1624-1635, 1984.
- [13] S. Öhman. Coarticulation in VCV utterances: spectrographic measurements. *JASA*: 39, 151-168, 1966.
- [14] D. Recasens, M.D. Pallarès and J. Fontdevilla. A model of lingual coarticulation based on articulatory constraints. *JASA*: 102, 544-561, 1997.
- [15] R. Sock et B. Vaxelaire (eds.). *L'anticipation à l'horizon du présent*. Mardaga, Sprimont, 2004.
- [16] C. Abry et M.T. Lallouache. Le MEM : un modèle d'anticipation paramétrable par locuteur. Données sur l'arrondissement en français. In : *Bulletin du Laboratoire de la Communication Parlée*, volume 3, pages 85-99, 1995.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] G. Modarresi, H.M. Sussman, B. Lindblom and E. Burlingame. An acoustic analysis of the bidirectionality of coarticulation in VCV utterances. *Journal of Phonetics*: 32, 291-312, 2004.
- [20] E. Farnetani and D. Recasens. Anticipatory consonant-to-vowel coarticulation the production of VCV sequences in Italian. *Language and Speech*: 36, 279-302, 1993.
- [21] D. Recasens. Acoustic analysis. In: W.J. Hardcastle and N. Hewlett (eds.), *Coarticulation. Theory, data and techniques*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pages 322-336, 1999.