

Coordinations spatio-temporelles dans les suites ab(b)i en arabe marocain

Chakir Zeroual^{1,2}, Phil Hoole³, Diamantis Gafos⁴, John Esling⁵

(1) Faculté Polydisciplinaire de Taza, Maroc. (2) Laboratoire de Phonétique et Phonologie CNRS-UMR7018 et Sorbonne Nouvelle, Paris-France. (3) Institut fuer Phonetik und Sprachverarbeitung, University of Munich, Germany (4) University of Potsdam, Germany (5) University of Victoria, Canada.
chakirzeroual@yahoo.fr hoole@phonetik.uni-muenchen.de
gafos@uni-potsdam.de esling@uvic.ca

RESUME

Dans cette étude articulatoire utilisant EMA tridimensionnelle, nous avons essayé d'identifier les différences au niveau des relations temporelles entre la consonne et les voyelles adjacentes dans les séquences [abi] et [abbi]. Nos résultats montrent que, comparée à /b/, /bb/ a un geste consonantique (LLIPy) dont la durée totale et la phase plateau sont plus longues, et la cible verticale plus haute. Nous avons également relevé une anticipation du geste consonantique de (LLIPy) durant [abbi] qui semble être la cause de l'abrègement de [a] dans ce contexte. L'intervalle temporel entre la voyelle [a] et [i] est plus long dans [abbi] comparé à [abi]. Ce résultat, combiné à d'autres observations, semble en faveur des modèles (exemple de la Phonologie Articulatoire) qui posent que le geste de la consonne est coordonné temporellement avec celui de la voyelle adjacente.

ABSTRACT

Spatio-temporal coordinations in Moroccan Arabic ab(b)i sequences

In this study using 3-dimensional EMA (AG500 Carstens Medizinelektronik) we tried to characterize the temporal relations between consonant and vowels in [ab(b)i] contexts. We found that, [bb] has a consonantal gesture (LowerLip_y) whose total duration and plateau phase are longer and the vertical target higher compared to [b]. We also found an anticipation of this consonantal gesture in [abbi] correlated with the shortening of the acoustic duration of [a] in this context. The time interval between the vowels [a] and [i] is longer in [abbi] compared to [abi]. This result, combined with other observations, seems to support the models (ex. Articulatory Phonology) suggesting a temporal coordination between the oral gesture of a consonant with that of the adjacent vowel.

MOTS-CLES : Gémination, coordinations temporelles, EMA, coarticulation, Arabe.

KEYWORDS : Geminates, EMA, temporal coordination, coarticulation, Arabic.

1 Introduction

L'objectif général de cette étude est d'identifier les mécanismes spatio-temporels responsables des différences articulatoires entre les consonnes simples et leurs correspondantes géménées. Ici, elle sera focalisée sur les différences entre les relations temporelles voyelle-voyelle et consonne-voyelle dans les suites [abbi] et [abi] : [ab(b)i].

Rappelons qu'au niveau acoustique, une occlusive géminée [C_jC_j] intervocalique se caractérise principalement par la durée plus longue de la tenue de son occlusion comparée à sa correspondante simple, et dont le rapport varie d'une langue à une autre

(de 1,5 à 3 selon Ladefoged et Maddieson, 1996). Les études perceptives (exemple, Lahiri et Hankamer, 1988) montrent que, cet allongement constitue l'indice majeur de la perception d'une occlusive gémignée en position intervocalique, où elle est généralement attestée dans les langues (Ladefoged et Maddieson, 1996). La production des occlusives gémignées intervocaliques s'accompagne, mais pas toujours, d'une réduction de la durée de la voyelle précédente suggérant une coarticulation voyelle-consonne qui serait plus importante dans VC_jC_jV que dans VC_jV.

Au niveau articulatoire, les études physiologiques (généralement par électropalatographie) montrent que les occlusives gémignées, comparées à leurs correspondantes simples, développent un contact articulatoire qui a également une durée plus importante (Kraehenmann et Jaeger, 2003 ; Kraehenmann et Lahiri, 2008). Cette caractéristique articulatoire semble être une propriété intrinsèque d'une occlusive gémignée, puisqu'elle a été rapportée même en position initiale de mot où la gémination homo-morphémique est généralement non-attestée. Les gémignées se caractérisent également par une durée totale plus importante du geste de leur articulateur majeur ainsi que de ses différentes phases (fermeture, plateau et ouverture : Zeroual et al, 2008).

Cette étude articulatoire teste des hypothèses majeures de deux modèles principaux de la production de la parole, pour décrire les relations temporelles voyelle-voyelle et consonne-voyelle dans les suites ab(b)i. Le premier modèle, généralement attribué à Öhman (1967), pose que les voyelles et les consonnes sont programmées de manière séparée, les dernières ne sont que superposées aux premières. Ce modèle prédit que dans [abi] et [abbi], la durée de l'intervalle temporel [a_i] reste identique.

Dans le modèle de la Phonologie Articulatoire, à chaque consonne (ou voyelle) est associé un geste oral qui est coordonné temporellement avec celui de la voyelle (ou de la consonne) adjacente. Ce modèle prédit que l'intervalle temporel articulatoire [a_i] serait plus long dans [abbi] comparé à [abi] due à une coordination temporelle entre les voyelles [a] et [i] et les consonnes adjacentes /b/ et /bb/. Smith (1995) prédit que la coordination temporelle entre l'onset du geste labial avec [a] dans [ab(b)i] serait identique si aucun abrègement de cette voyelle n'est enregistré devant /bb/, et une anticipation de ce mouvement dans [abbi] si cet abrègement est constaté.

L'interprétation de nos données prendra en considération les prédictions de deux autres modèles de représentation des consonnes gémignées : (i) une gémignée est une suite de deux consonnes identiques produites par deux gestes coordonnés temporellement (Zmarich et al., 2011) ; (ii) une gémignée est réalisée en ajustant les paramètres spatio-temporels du geste de sa correspondante simple (Löfqvist, 2005).

2 Méthode & matériel linguistique

Deux locuteurs adultes marocains (S1 et S2) ont participé à une expérience par EMA tridimensionnelle (AG500 Carstens Medizinelektronik). Durant cette expérience, S1 et S2 ont prononcé (8 répétitions) des mots et quelques non-mots de l'AM contenant les consonnes simples /b l t k/ et leurs correspondantes gémignées dans les contextes [a₁C_j(C_j)a₂], [a₁C_j(C_j)u₂] et [a₁C_j(C_j)i₂]. Cette étude, qui est principalement consacrée à l'organisation des relations temporelles consonne-voyelle et voyelle-voyelle, sera limitée aux contextes /a₁b(b)i₂/, c'est-à-dire à [nsabi] vs. [tsabbi] ('mes gendres' vs. 'engueuler, à

l'impératif, 2^{ème} personne du féminin') prononcés dans la phrase cadre [ʒibi _____ hnaja] 'ramène _____ ici !'. Dans [ab(b)i], l'accent est porté par la voyelle [a].

Cette technique expérimentale nous a permis d'enregistrer (200Hz) les mouvements horizontaux et verticaux de la langue, de la lèvre inférieure et de la mâchoire inférieure avec des capteurs posés proche de la pointe (TTIP), du centre (TMID) et du dos de la langue (TDOR), ainsi que sur l'extrémité externe de la lèvre inférieure (LLIP) et en bas des incisives inférieures (JAW). Pour chaque geste consonantique et vocalique, et grâce au programme Mview développé sur Matlab par M. Tiede (Haskins Laboratories), les positions temporelles Onset (Ons : 3), Vitesse maximale (Vmax : 4), Cible (Cib : 5), Position Maximale (M : 7), Relâchement (R : 8), Vitesse maximale (Vmax : 9) et Offset (Off : 10) ont été identifiées automatiquement à partir de leur vitesse (Fig. 1 et 2). La position temporelle centrale du plateau de LLIPy a été également calculée.

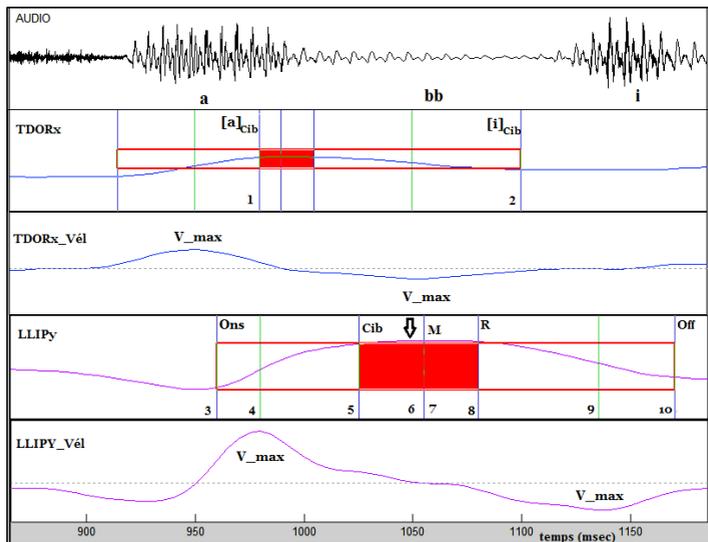


FIGURE 1. Tracés représentant l'évolution de la forme d'onde, des positions horizontales de TDORx, de sa vitesse, des positions verticales de LLIPy et de sa vitesse durant [tsabbi] produit par S1. Mesures de durées effectuées : (i)-Phases de fermeture (D_FR = 5-3), d'ouverture (D_Ov = 10-8) et plateau (D_PL = 8-5) durant LLIPy. (ii)-Intervalle temporel entre [a]_{Cib} et [i]_{Cib} (2-1). (iii)-Intervalle temporel entre [bb]_{ons} et [a]_{Cib} (3-1); [bb]_{Cib} et [a]_{Cib} (5-1); [bb]_{Cent} et [a]_{Cib} (6-1), entre [bb]_{Cent} et [i]_{Cib} (6-2) et [bb]_R et [i]_{Cib} (8-2) et enfin entre [b]_{off} et [i]_{Cib} (10-2). La flèche = position centrale du plateau de LLIPy.

Pour le geste consonantique, les tracés de LLIPy ont été retenus (S1, Fig. 1 et S2, Fig. 2). Ses positions Onset et Cible correspondent aux moments où la vitesse instantanée atteint 20 % de la vitesse maximale de son mouvement de fermeture. Le même seuil minimal a été adopté pour définir les positions Relâchement et Offset de son mouvement d'ouverture. Les valeurs spatiales de LLIPy dans les positions (Ons, Vmax, Cib, M, R,

Vmax et Off) ont été relevées (Table 3, et Fig. 3 et 4). Les durées de ses phases de fermeture, d'ouverture et plateau ont été calculées (Table 2).

Pour le geste vocalique, les tracés de TDORx (voir également Smith, 1995) pour S1 (Fig. 1) et TMIDy pour S2 (Fig. 2) ont été retenus, où leurs mouvements sont clairement définis et leurs paramètres cinématiques varient minimalement. Leurs positions temporelles ont été identifiées également automatiquement, mais avec le seuil de 10% (voir également Smith, 1995 et Zmarich et al., 2011). Pour la quantification de l'intervalle temporel entre [a] et [i], nous avons mesuré, pour S1 (Fig. 1), la durée entre le début de la phase plateau du mouvement vers l'arrière de TDORx durant [a], considéré comme [a]_{Cib}, et le début de la phase plateau de son mouvement vers l'avant durant [i], considéré comme [i]_{Cib}. Pour S2 (Fig. 2), c'est l'intervalle temporel entre le début de la phase plateau du mouvement vers le bas de TMIDy durant [a] ([a]_{Cib}), et le début de la phase plateau de son mouvement vers le haut durant [i] ([i]_{Cib}) qui a été mesuré.

Nous avons également mesuré les durées acoustiques de [a] et [b(b)] dans [ab(b)i].

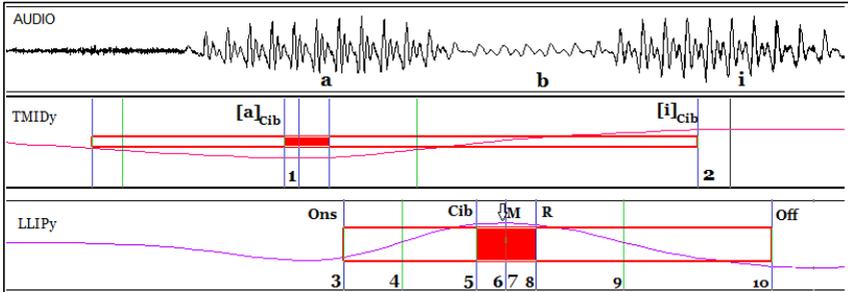


FIGURE 2 : Tracés représentant l'évolution de la forme d'onde, des positions verticales de TMIDy et des positions verticales de LLIPy durant [nsabi] produit par S2. Mesures de durées effectuées : (i)-Phases de fermeture (D_FR = 5-3), d'ouverture (D_Ov = 10-8) et plateau (D_PL = 8-5) durant LLIPy. (ii)-Intervalle temporel entre [a]_{Cib} et [i]_{Cib} (2-1) (iii)- Intervalles temporels entre [b]_{ons} et [a]_{Cib} (3-1); [b]_{Cib} et [a]_{Cib} (5-1); [b]_{Cent} et [a]_{Cib} (6-1), entre [b]_{Cent} et [i]_{Cib} (6-2) et [b]_R et [i]_{Cib} (8-2) et enfin entre [b]_{Off} et [i]_{Cib} (10-2). La flèche indique la position centrale du plateau de LLIPy.

3 Résultats et discussion

3.1 Mesures des durées acoustiques

Pour limiter la variabilité généralement observée dans les mesures articulatoires, nos analyses statistiques (une série de t-tests) ont été faites de manière séparée pour S1 et S2. Afin de donner une représentation plus synthétique de nos données, nous avons élaboré les figures 3 et 4 où toutes les mesures temporelles sont alignées par rapport au début de la phase plateau du geste vocalique associé à [a] (c'est-à-dire par rapport à [a]_{Cib}).

Pour S1 et S2, /bb/ est substantiellement et significativement plus longue comparée à /b/

(Table 1). [a] est significativement plus réduite devant /bb/ que devant /b/ ; cette différence de durée n'est pas aussi importante qu'entre les consonnes. Puisque la fraction différentielle de durée est de 20% (Rossi, 1972), cet abrègement de [a] (-13% et -14%) ne pourrait constituer un indice secondaire pour la perception de/bb/ intervocalique en AM.

	[a]		[b(b)]	
	S1	S2	S1	S2
[abi]	90 (7)	79 (4)	73 (7)	64 (4)
[abbi]	78 (7)	68 (6)	126 (6)	119 (4)
% de différence	-13%	-14%	73%	86%
<i>p</i>	0,004	0,0012	< 0,0001	< 0,0001

Table. 1 - Durées moyennes acoustiques (en msec. 8 répétitions) de [a] et de [b(b)] dans les contextes [abi] et [abbi]. Les valeurs de *p* sont calculées à partir des valeurs absolues.

3.2 Mesures de durée des différentes phases de LLIPy et de ses positions spatiales

		D_FR	D_PL	D_OV	D_TL
S1	[abi]	49 (3,7)	33 (6,5)	81,8 (8,3)	164 (8,3)
	[abbi]	58 (7,1)	58 (5)	89,37 (8)	205 (8)
	% de différence	19,2%	73,6%	9,2%	25,19%
	<i>p</i>	0,0010	< 0,0001	= 0,021	< 0,0001
S2	[abi]	47,5 (2,7)	23,1 (2,6)	84,4 (5,6)	155 (8,9)
	[abbi]	56,3 (5,8)	37,5 (4,6)	102 (19,4)	196 (14,7)
	% de différence	18%	62%	21%	26%
	<i>p</i>	= 0,0017	< 0,0001	= 0,0283	< 0,0001

TABLE 2 – Durées moyennes (8 répétitions) des phases de fermeture (D_FR), plateau (D_P), d'ouverture (D_OV) et totale (D_LL) du geste de LLIPy dans [ab(b)i].

	S1			S2		
	[C] _{Cib}	[C] _M	[C] _R	[C] _{Cib}	[C] _M	[C] _R
[abi]	-12,0	-11,5	-11,7	-10,1	-9,7	-10,0
[abbi]	-10,7	-9,6	-9,9	-9,1	-8,4	-8,6
	0,0006	< 0,0001	< 0,0001	0,0055	0,0008	0,0008

TABLE 3 - Hauteurs moyennes (8 répétitions) de LLIPy dans les positions cible [C]_{Cib}, Maximale [C]_M et Relâchement [C]_R durant [ab(b)i] produits par S1 et S2.

La durée totale du geste de LLIPy est significativement plus longue dans [abbi] que dans [abi] produits par S1 et S2 (Table 2 et Fig 3 et 4). Cette différence est principalement attribuée à l'allongement de sa phase plateau (% de différence : 73,6% pour S1 et 62% pour S2). Durant cette phase plateau, LLIPy est plus élevé durant /bb/ que durant /b/ (Table 3, Fig. 3 et 4). Ce résultat semble en accord avec l'hypothèse de Løfqvist (2005) selon laquelle, les gémées seraient associées à une cible spatiale virtuelle plus élevée que leurs correspondantes simples. Notons qu'une telle différence spatiale n'a pas été observée entre /t d/ et leurs correspondantes /tt, dd/ (Zeroual et al., 2008) dû très probablement à la surface plus rigide des alvéoles qui empêche la montée plus marquée

de la pointe de la langue durant les géménées coronales.

3.3 Intervalles temporels voyelle-voyelle et voyelle-consonne

	S1			S2		
	[abi]	[abbi]	<i>p</i>	[abi]	[abbi]	<i>p</i>
[i] _{Cib} - [a] _{Cib}	87,5 (11)	111 (9,5)	0,0005	136,3 (12)	170,2 (14)	0,0002
[C] _{ons} - [a] _{Cib}	-8,8 (6,4)	-24,4 (7,8)	0,0006	12,5 (6)	-1,2 (4,4)	0,0001
[C] _{Cib} - [a] _{Cib}	40 (7,6)	33,8 (9,5)	0,168	60 (5,9)	55 (5,3)	0,099
[C] _{Cent} - [a] _{Cib}	56,6 (6)	62,5 (9,9)	0,165	71,6 (5,1)	73,8 (4)	0,36
[C] _{Cent} - [i] _{Cib}	-31 (15)	-48,4 (13,3)	0,029	-64,8 (9)	-96,5 (14)	0,0001
[C] _R - [i] _{Cib}	-14,4 (13)	-19,6 (14)	0,47	-53,1 (9)	-77,7 (14)	0,001
[C] _{off} - [i] _{Cib}	68 (17,7)	70 (15)	0,47	31,2 (9)	24,16 (21)	0,41

Table 4- Mesures des intervalles temporels entre [a] et [i], [a] et [b(b)] et entre [b(b)] et [i] dans les contextes [ab(b)i] produits par S1 et S2 (voir aussi Fig. 1, 2).

Nos données montrent que l'intervalle temporel entre [a]_{Cib} et [i]_{Cib} est significativement plus long dans [abbi] comparé à [abi] (Table 4 : [i]_{Cib} - [a]_{Cib} ; Fig. 3-4). Ce résultat va à l'encontre du modèle d'Öhman qui prédit des durées équivalentes dans ces deux contextes. Un résultat similaire a été également enregistré par Zmarich et al. (2011) pour l'intervalle temporel entre [i] et [a] dans les séquences im(m)a) de l'italien, de même que par Smith (1995) dans les séquences [ip(p)a] du japonais.

Pour S1 et S2, et par rapport à [a]_{Cib}, l'onset du mouvement de fermeture de LLIPy commence significativement bien avant dans [abbi] comparé à [abi] (Table 4, [C]_{ons}-[a]_{Cib} ; Fig. 3-4). Cette différence temporelle peut expliquer pourquoi S1 et S2 réalisent [a] de manière plus réduite dans [abbi] comparé à [abi]. Par contre, par rapport à [i]_{Cib}, nos résultats montrent que le geste de LLIPy achève son mouvement (Table 4 : [C]_{off} - [i]_{Cib}) pratiquement au même moment dans les contextes [ab(b)i] ; ce qui suppose un même degré de recouvrement de [i] par LLIPy dans ces deux contextes.

[b]_{Cib} est plus proche de [a]_{Cib} dans [abbi] que dans [abi], cette différence est toutefois non significative pour S1 et S2 (Table 4). Cette invariance temporelle est attendue si la première partie de la géminée se comporte comme une consonne simple.

Pour S1 et S2, cependant, la durée entre [a]_{Cib} et [C]_{Cent} reste similaire dans [abbi] et [abi] (Table 4 : [C]_{Cent} - [a]_{Cib} ; Fig. 3-4). Notons que Zmarich et al. (2011) ont également constaté que, chez trois sujets italiens, l'intervalle temporel entre [i] et [C]_{Cent} reste constant dans les suites [im(m)a]¹. Ces résultats suggèrent que dans [ab(b)i], la consonne géminée /bb/ et sa correspondante /b/ semblent être coordonnées avec la voyelle précédente. Cette coordination, selon Zmarich et al. (2011) serait par rapport à la position centrale de leur geste consonantique. Cependant, une autre interprétation peut être proposée. En effet, si la première moitié de la consonne géminée est coordonnée temporellement à la fois avec la voyelle précédente et avec sa seconde moitié, une

¹ Chez, Zmarich et al. (2011), Cent = Mid = position central de la phase plateau de l'aperture labiale.

invariance temporelle peut être enregistrée entre le milieu de /bb/ et la voyelle précédente.

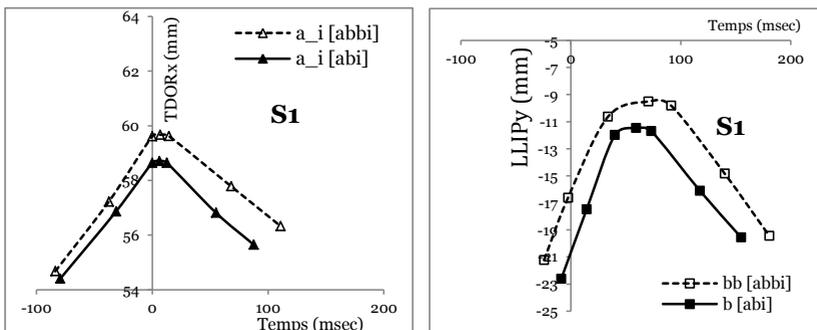


FIGURE 3 – Positions temporelles (en msec.) et spatiales (en mm) de TDORx (à gauche, valeur élevée, TDOR plus reculé) et LLIPy (à droite, valeur élevée, LLIP plus haut) durant [abi] (ligne continue) et [abbi] (ligne discontinue) prononcés par S1. Sur chaque courbe les 6 positions Ons, Vamx, C, M, R, Vmax et Off sont indiquées (voir aussi Fig. 2). Tous ces tracés de TDORx et LLIPy sont alignés (o : axe horizontal) par rapport à [a]_{Cib}.

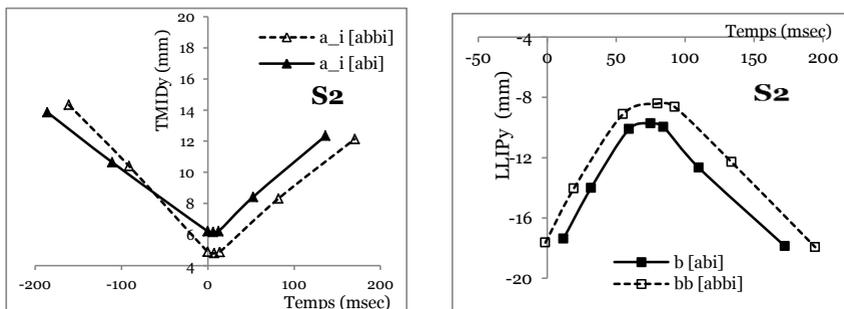


FIGURE 4 – Positions temporelles (en msec.) et spatiales (en mm) de TMIDy (à gauche, valeur élevée TMID plus haut) et LLIPy (à droite) dans [abi] (ligne continue) et [abbi] (ligne discontinue) prononcés par S2. Sur chaque courbe les 6 positions Ons, Vamx, C, M, R, Vmax et Off sont indiquées (voir aussi Fig. 3). Les tracés de TMIDy et LLIPy sont alignés par rapport à [a]_{Cib}.

Pour nos deux locuteurs, [i]_{Cib} semble plus éloigné de [C]_{cent} dans [abbi] comparé à [abi] (Table 4 : [C]_{cent} - [i]_{Cib}). Ce résultat va également à l'encontre du modèle d'Ohman, mais est en accord avec l'analyse selon laquelle la consonne géminée est une suite de deux consonnes simples qui sont hétéro-syllabiques et où aucun effet de C-center n'est attendu. Notons que [C]_{cent} ne correspond pas nécessairement à la position du C-center de la séquence sous-jacente /bb/ tel qu'il est défini par la Phonologie Articulatoire, puisque la durée de leurs plateaux et le degré de leur recouvrement sont difficiles à quantifier.

4 Conclusion

/bb/ est acoustiquement plus longue que /b/ ; une différence de durée parallèle est également observée au niveau de la phase plateau de leur geste oral suggérant un contact articuloire plus long durant la première. Nos résultats semblent en accord avec l'hypothèse de Löfqvist (2005) qui associe la gémignée à une cible virtuelle plus haute. Nos mesures montrent également un abrègement de [a] dans [abbi] lié très probablement à l'anticipation du geste de LLIPy dans ce contexte. L'intervalle temporel entre [a] et [i] est significativement plus long dans [abbi] comparé à [abi]. Ce résultat, combiné à d'autres observations, semble constituer un argument en faveur des modèles (exemple de la Phonologie Articulaire) selon lesquels le geste oral de la consonne est coordonné temporellement avec celui de la voyelle adjacente. Nos données s'accordent avec l'hypothèse qui stipule qu'une gémignée est une suite de deux consonnes identiques produites par deux gestes coordonnés temporellement. D'autres travaux sont nécessaires pour déterminer la nature exacte de l'organisation temporelle dans les suites [ab(b)i].

Références

- KHATTAB, G. (2007). A phonetic study of germination in Lebanese Arabic. *Proc. 16th ICPHS, Sarrebrücken*, 153-158.
- KRAEHENMANN, A. et JAEGER, M. (2003). Phrase-initial geminate stops: articulatory evidence for phonological representation. *Proc. 15th ICPHS, Barcelone*, pages 2725-2728.
- KRAEHENMANN, A. et LAHIRI, A. (2008). Duration differences in the articulation and acoustics of Swiss German word-initial geminate and singleton stops. *J. Acoust. Soc. Am.* 123, pages 4446: 4454.
- LADEFOGED, P. et MADDIESON, I. (1996). *The Sounds of the World's Languages*. Blackwell: Cambridge USA & Oxford UK.
- LAHIRI, A., et HANKAMER, J. (1988). The timing of geminate consonants. *J. Phonetics* 16, pages 327-338.
- LÖFQVIST, A. (2005). Lip kinematics in long and short stop and fricative consonants. *J. Acoust. Soc. Am.* 117, pages 858-878.
- ÖHMAN S. E. G. (1967). Numerical Model of Coarticulation. *J. Acoust. Soc. Am.* 41, pages 310-320.
- ROSSI, M. (1972). Le seuil différentiel de durée. In (A. Valdman, 1972), pages 435-450.
- SMITH, C.L. (1995). Prosodic patterns in the coordination of vowel and consonant gestures. In: B. Connell & A. Arvaniti (eds) *Papers in Laboratory Phonology IV, Phonology and phonetic evidence*. CUP, 205-222.
- ZEROUAL, C., HOOLE, P., GAFOS, A. (2008). Spatio-temporal and kinematic study of Moroccan Arabic coronal geminate plosives. *Proc. 8th ISSP, Strasbourg*, pages 135-138.
- ZMARICH, C., GILI FIVELA, B., PERRIER, P., SAVARIAUX, C., TISATO, G. (2011). Speech Timing Organization for the Phonological Length Contrast in Italian Consonants. *Proc. INTERSPEECH, Florence*, pages 401-404.