

# Etude par EMA des mouvements de la mâchoire inférieure durant les consonnes de l'arabe marocain

Chakir zeroual<sup>1,2</sup> Phil Hoole<sup>3</sup> Adamantios Gafos<sup>4</sup>

(1) Faculté Polydisciplinaire de Taza, BP. 1223, Taza, Maroc.

(2) Laboratoire de Phonétique et Phonologie, CNRS-UMR7018, Paris, France

(3) Institut fuer Phonetik und Sprachverarbeitung, University of Munchen, Germany

(4) University of Potsdam, Germany

chakirzeroual@yahoo.fr, hoole@phonetik.uni-muenchen.de,  
adamantios.gafos@uni-potsdam.de

## RESUME

---

Cette étude est basée sur des données obtenues à l'aide d'EMA (AG500) enregistrant les mouvements de la mâchoire inférieure (Minf) durant les consonnes labiales, coronales, vélares, uvulaires, pharyngales et laryngales de l'arabe marocain dans les contextes aCa et iCi. Nous avons montré que l'implication de la Minf est cruciale durant /s S t T/ (S T : consonnes emphatiques). Le recul de la racine de la langue n'est pas nécessairement corrélé à la baisse de la Minf. Les consonnes apicales ne sont pas toujours associées à l'abaissement de la Minf. La Minf ne semble pas impliquée durant les laryngales et les pharyngales, ce qui est en accord avec les déductions de Goldstein (1995). Les mouvements verticaux et horizontaux de la Minf sont relativement indépendants.

## ABSTRACT

---

### EMA study of jaw movements during Moroccan Arabic consonants

Our observations suggest that the degree of jaw involvement is crucial during coronal voiceless obstruent /s S t T/ (S T : pharyngealized consonants). /t T/ have similar height even though /t/ is laminal and /T/ apical: Apicality seems not always correlated with jaw lowering. The high jaw position during /T/ seems necessary to support high tongue tip position when the tongue root is strongly retracted. The jaw seems not activated during the pharyngeal and laryngeal consonants: in accord more with Goldstein (1994) than Elgendy (1999) hypothesis. High/low and front/back jaw movements are not always correlated as is expected from a simple rotation movement of the jaw.

---

**MOTS-CLES :** EMA, mâchoire inférieure, production de la parole, arabe marocain.

**KEYWORDS:** EMA, jaw, speech production, Moroccan Arabic.

---

## 1 Introduction

Peu d'études articulatoires ont essayé de caractériser les propriétés spatiotemporelles de la mâchoire inférieure (Minf) durant les consonnes. Elles ont généralement porté sur les labiales, coronales et/ou vélares, et ont montré que les propriétés articulatoires de la Minf varient en fonction de leur lieu et mode d'articulation et sont associées, en partie, à des contraintes biomécaniques combinées éventuellement à des contraintes perceptives. Ici, nous nous baserons sur les études de Keating et al.

(1994 : anglais et suédois), Lee et al. (1995 : français, coréen, arabe), Mooshammer et al. (2006 et 2007 : allemand), Recasens et al. (2012 : espagnol), Elgendy (1999 : arabe égyptien), Lindblom (1983 : suédois) et Zeroual et al. (2007 : arabe marocain, désormais AM).

/s ʃ/ ont la position la plus élevée de la Minf qui reste quasi-stable quelles que soient les voyelles adjacentes (Keating et al., 1994 ; Lee et al., 1995 ; Mooshammer et al. 2007). Cette posture est attribuée à la précision articuloire requise durant ces consonnes, ainsi qu'à la présence d'une source supplémentaire du bruit de friction entre les incisives inférieures et supérieures (Shadle, 1985) qui renforce leurs caractéristiques acoustiques. La Minf est plus avancée durant /ʃ/ comparée à /s/ (Mooshammer et al. 2007) liée très probablement à l'arrondissement durant la première.

/t/ (avec VOT long) a également une position élevée et invariable de la Minf ; sa hauteur est similaire (Keating et al. 1994) ou plus basse comparée à /s/ (Lindblom, 1983 ; Mooshammer et al. 2007). Selon Mooshammer et al. (2006), la montée substantielle de la Minf durant /t/ est nécessaire pour produire un bruit de relâchement long et saillant. La montée maximale de la Minf est souvent alignée avec le relâchement de /t/, mais située bien avant durant /d/ (Mooshammer et al., 2006 ; Zeroual et al. 2007). Mooshammer et al. (2007) montrent que la Minf est plus basse durant /d/ comparée à /t/ qu'ils associent au fait que /d/ peut être apicale et /t/ laminaire (voir aussi Dart, 1991).

Comparées aux autres coronales notamment obstruantes, /l r/ (apicales) ont souvent une position plus basse de la Minf qui semble nécessaire pour éviter, durant /l/, un contact latéral entre la langue et le palais (Mooshammer et al., 2006) et pour faciliter, durant /r/, la montée et la rétraction de la pointe de la langue. La hauteur de la Minf durant /l/ peut être supérieure (Elgendy, 1999), identique (Keating, 1994), ou plus basse (Lindblom, 1983) comparées à /k g/.

/p b/ ont généralement une hauteur la Minf entre les dentales et les vélares : /t, d/ > /p, b/ > /k, g/ (Keating et al., 1994; Lee, 1995). La position abaissée de Minf durant /p b/, comparée à /t d/, est due aux lèvres qui peuvent se déplacer relativement indépendamment de la Minf. Keating et al. (1994) et Elgendy (1999) ont rapporté une position plus élevée de la Minf durant /f/ comparée à /b/ liée très probablement à la constriction labiodentale. /k g/ sont généralement associées à une position plus basse de la Minf, comparées aux obstruantes labiales et coronales, qui coarticule assez fortement avec les voyelles adjacentes. La position abaissée de la Minf, durant /k g/, est généralement attribuée à son axe de rotation qui est plus proche de l'articulateur dorsal (Hoole and Kühnert, 1996, Keating et al. 1994). En effet, le contact dorso-vélaire ne nécessite pas une montée importante de la Minf et la rotation de cette dernière affecte faiblement la hauteur du dos de la langue.

Très peu d'études ont été consacrées aux consonnes post-vélares, celle de Boff (1983, ciné-radiographie) a montré que, dans aCa, les pharyngales de l'AM affichent la baisse la plus importante de la Minf, qui est plus marquée que /a/ (réalisée [æ] en AM). Viennent ensuite les laryngales, puis les uvulaires. Une gradation similaire a été rapportée par Elgendy (1999) pour qui l'abaissement de la Minf durant les pharyngales serait actif et permettrait à la racine de la langue de reculer plus facilement. Pour Nolan (1995), cet abaissement de la Minf est une conséquence passive de la montée du larynx durant les pharyngales. La coarticulation très marquée de la Minf avec les voyelles, durant les laryngales et les pharyngales, combinée au fait que les pharyngales ont en arabe iraquien une position plus élevée de la Minf et plus abaissée en AM, ont amené Goldstein (1994) à suggérer que les laryngales et les pharyngales sont produites sans implication active de cet articulateur. En fait pour Goldstein (1994), toutes les gutturales /χ ʁ ħ ʕ ʔ/, qui constituent une classe naturelle, serait caractérisée par la non implication active de la Minf.

Cette étude exhaustive, basée sur les données de 3 locuteurs produisant plusieurs consonnes de l'AM (Table 1), teste une partie des hypothèses articulatoires et perceptives citées ci-dessus : (i) le bruit de friction saillant des coronales suppose nécessairement une position très élevée de la Minf ; (ii) les consonnes apicales ont une position plus basse de la Minf comparées à leurs correspondantes laminales ; (iii) la rétraction de la racine de la langue nécessite un abaissement de la Minf ; (iv) les gutturales sont produites sans implication active de la mâchoire inférieure. Notons que plusieurs critères peuvent montrer l'implication active de la Minf (Goldsetin, 1994, Moosammer et al, 2006 et 2007). Nous nous baserons ici sur celui qui consiste à comparer, dans les mêmes contextes vocaliques, les positions spatiales de la Minf durant la production des consonnes ayant des lieux et des modes d'articulation différents. Nous analyserons également l'ampleur de l'effet (coarticulation) des voyelles sur les mouvements de la Minf durant ces consonnes.

## 2 Méthodologie

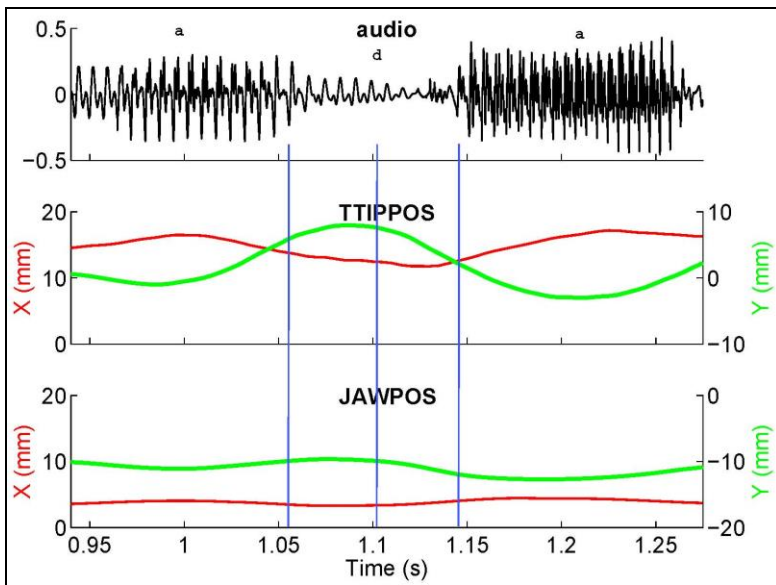


Figure. 1 : Courbes représentant l'évolution (en mm) des positions verticales (Y : lignes vertes) et horizontales (X : lignes rouges) de la pointe de la langue (TTIPPOS) et de la mâchoire inférieure (JAWPOS) durant /ada/ dans /madabʃ/. Les lignes verticales bleues correspondent aux positions (de gauche à droite) onset, médiane et offset de /d/ (/C/), où les mesures (x et y) ont été relevées.

4 locuteurs natifs de l'AM ont participé à une expérience par EMA 3-dimensionnelle (AG500, Carstens Medizinelektronik). Cette technique nous a permis d'enregistrer les mouvements de plusieurs articulateurs grâce à des capteurs fixés : proche de la pointe de langue, au niveau de sa partie médiane, sur son dos, sur les extrémités externes centrales des lèvres inférieures et supérieures et sur la base externe des incisives inférieures pour enregistrer les mouvements de la Minf.

Un programme Mview, développé sur Matlab par M. Tiede (Haskins), nous a permis d'identifier automatiquement, à partir de la courbe de la vélocité (seuil de 20%), les positions temporelles et spatiales des mouvements de chaque articulateur, ainsi que les valeurs de la vélocité maximale et l'amplitude de ses phases de fermeture et d'ouverture. Grâce à ce programme, nous avons également

relevé les mesures de la position verticale et horizontale de la Minf au niveau de l'onset, partie médiane, et l'offset des trois segments des suites iCi et aCa. Cette étude sera basée essentiellement sur l'analyse des mesures effectuées au niveau de la partie médiane de /C/ (Figure 1).

	/C/	/ma+CaC+ʃ/	/y+CiC/	Sens
/b/	Labiale occlusive	[mabanʃ]	[ibiʃ]	Apparaître ; vendre
/d/	Coronale occlusive non emphatique	[madabʃ]	[idir]	Fendre ; faire
/D/	Corononale occlusive emphatique	[maDamʃ]	[iDim]	Damer (un pion)''
/t/	Coronale occlusive non emphatique	[matabʃ]	[itih]	Se repentir
/T/	Coronale occlusive emphatique	[maTabʃ]	[iTib]	Cuire
/s/	Coronale fricative non-emphatique	[masabʃ]	[isib]	Abandonner
/S/	Coronale fricative emphatique	[maSabʃ]	[iSib]	Trouver
/l/	Coronale latérale	[malamʃ]	*[iliz]	Prendre le parti de quelqu'un
/r/	Coronale battue (ou tap consonant)	[marabʃ]	[irib]	s'effondrer
/k/	Vélaire occlusive	[makanʃ]	*[ikis]	Etre
/g/	Vélaire occlusive	[magalʃ]	[igis]	Dire ; Essayer
/q/	Uvulaire occlusive	[maqasʃ]	[iqis]	Toucher
/χ/	Uvulaire fricative	[maχafʃ]	[iχib]	Avoir peur ; Etre déçu
/h/	Pharyngale approximante	[mahalʃ]	[ihil]	Ternir
/h/	Laryngale fricative	[mahamʃ]	[ihim]	S'égarer

TABLE 1 : Consonnes de l'AM concernées par cette étude et placées dans les contextes aCa et iCi. Emphatique renvoie à une articulation secondaire caractérisée comme une pharyngalisation ou uvularisation, d'où les symboles non standards /T D S/. /t/ a un VOT très long et une articulation laminaire ; /T/ un VOT très court et une articulation apicale (Zeroual et. 2007). /r/ est réalisé [r]. /a/ est phonétiquement [æ] sauf au voisinage d'une emphatique où elle est réalisée [a]. \* : non mot.

Des items de l'AM (Table 1) complétés par quelques non mots et classés de manière aléatoire ont été prononcés (8 fois) par 4 locuteurs natifs dans la phrase cadre : [galha \_\_\_\_ hnaja] « il lui a dit \_\_\_\_ ici ». Dans ces items, plusieurs types de consonnes apparaissent dans les contextes symétriques aCa et iCi. Ces items sont des verbes conjugués à la forme accomplie /ma+CaC+f/ et inaccomplie /yCiC/, 3<sup>ème</sup> personne masculin singulier. /yCiC/ est réalisé phonétiquement [iCiC]. Dans /ma+CaC+f/, [ma...ʃ] est un morphème discontinu de négation. Dans tous ces items, l'accent est placé la 2<sup>ème</sup> voyelle. Cette étude est limitée aux données de 3 locuteurs réalisant 5 répétées par item.

### 3 Résultats et discussions

Une ANOVA à deux facteurs montrent que la hauteur de la Minf varie significativement en fonction de la nature de la consonne [F(14 ; 420)=37,1 ; p<0,001] et du contexte vocalique [F(1 ; 420)=62,7 ; p<0,001] ; leur interaction est significative (p<0,001). Une deuxième ANOVA à 2 facteurs montre que la position horizontale de la Minf varie en fonction de la consonne [F(14 ; 420)=25,35 ; p<0,001] et du contexte vocalique [F(14 ; 420)=17,94 ; p<0,001] ; leur interaction est non significative (p=0,23). Les valeurs moyennes des positions verticales et horizontales de la Minf sont données dans la Table 3, les analyses post-hoc (TukeyHSD) de la première ANOVA sont résumés dans la Table 4 (positions verticales) et de la deuxième dans la Table 5 (positions horizontales).

### 3.1 Mouvements verticaux de la mâchoire inférieure en fonction de /C/

Nos résultats montrent que /t d T D s S/ ont la même position verticale de la Minf qui est significativement supérieure aux autres consonnes /b l r k g q χ ħ h/ (seule /d/ vs /b/ est non significative). Ces résultats semblent confirmer l'hypothèse selon laquelle la production d'un bruit de friction très saillant durant /s S/ et /t/ (qui a VOT long) nécessite une montée substantielle de la Minf. La hauteur identique de la Minf durant les emphatiques /T D S/, comparées à leurs correspondantes non emphatiques /t d s/, montre que le recul de la racine de la langue, pour produire leur articulation secondaire dans la cavité pharyngale, n'est pas nécessairement corrélé à la baisse de la Minf. Nous pensons que la montée importante de la Minf durant /T D S/, mêmes si elles sont apicales, est pour compenser le recul de la racine de la langue due à leur pharyngalisation.

Le fait que les coronales obstruantes ont une position beaucoup plus élevée de la Minf comparées à /l r/ est en accord avec les observations de plusieurs études. /l r/ ont la Minf légèrement plus basse mais non statiquement différente de /k g/. Notons que seule Lindblom (1983 : suédois) rapporte une position significativement plus basse de la Minf durant /l r/ comparées à /k g/. Les observations de Keating (1994) montrent une position identique de la Minf durant /l r k g/ avec la tendance [l r] < [k g] (pour l'anglais). Dans les données d'Elgendy (1999), la Minf durant /l r/ est significativement plus élevée comparée à /k g/. Dans nos données, la position légèrement plus haute de la mâchoire inférieure durant /k g/ comparée à /l r/ peut être due au fait que /k/ de l'AM est dorso-palatal devant /a, i/ (Boff, 1983) et que /a/ de l'AM est réalisé [æ] sauf au voisinage d'une emphatique. Zeroual et al. (2011a et 2011b) montrent aussi que /k/ de l'AM est produit devant /a i/ alors que le dos de la langue est dans la même position horizontale qui est plus avancée comparée à sa position devant /u/.

/b/ est produite avec une position de la Minf qui est plus élevée, mais non significativement, à celle de /l r k g/. Cette tendance s'accorde avec les travaux qui montrent que la hauteur de la Minf durant /p b/ suit la gradation suivante : /t d/ > /p b/ > /k g/ (Keating et al., 1994; Lee, 1994). La Minf est plus élevée durant /k g/ comparée à /q χ ħ h/; seules les différences /k g/ vs. /q/ sont non significatives. Les observations par EMA de Zeroual et al. (2011a) montrent que /q/ est très palatalisée dans iCi, ce qui peut expliquer la hauteur très proche de la Minf durant /k g q/.

Les gutturales /χ ħ h/ ont la position la plus abaissée de la Minf comparées à toutes les autres consonnes. Seules /ħ h/ présentent la position de la Minf qui est statiquement abaissée comparée à toutes les autres consonnes buccales. Même si la Minf est plus basse durant /q χ/ comparée à /l r/, cette différence n'est pas statistiquement significative. Nous pensons que ce comportement particulier de /q χ/, se rapprochant à la fois des consonnes buccales et des gutturales, est lié au fait qu'ils sont des « segments complexes » ayant une articulation buccale impliquant le dos de la langue et une autre pharyngale réalisée par la racine de la langue (Goldstein, 1994).

### 3.2 Mouvements horizontaux de la mâchoire inférieure en fonction de /C/

/s S/ ont une position de la Minf qui est la plus avancée comparée à toutes les autres consonnes, y compris /d T D/ (seule /t/ vs. /s S/ non significative). /t/ est également plus avancée que le reste des consonnes à l'exception de /d/. Rappelons que /s S t d T D/ sont produites avec une hauteur de la Minf qui est statistiquement similaire. Ces résultats suggèrent que le mouvement de translation horizontale de la Minf peut être contrôlé indépendamment de son mouvement de rotation.

/s/ et /d/ ont une même position horizontale comparée respectivement à leur correspondante emphatique /S/ et /D/. Ces deux résultats, montrent que le recul de la racine de la langue durant les consonnes coronales emphatiques /S D/ ne nécessite pas une rétraction de la Minf. Ce résultat peut également constituer un argument contre l'hypothèse selon laquelle les consonnes emphatiques sont accompagnées d'un arrondissement des lèvres (Jakobson, 1962). Cette déduction est basée sur les observations de (Mooshammer et al. 2007 ; Lee, 1995) qui montrent une position plus avancée de la Minf durant /f/ comparée à /s/ attribuée à l'arrondissement des lèvres durant la première.

/d T D l r k g/ ont une position horizontale de la Minf qui reste statistiquement identique, bien que sa position verticale est significativement plus élevée durant /d T D/ comparée à /l r k g/. Ces résultats suggèrent également que le mouvement de translation horizontale (antérieur-postérieur) de la Minf peut être contrôlé indépendamment du mouvement de rotation.

/h/ présente la position de la Minf qui est la plus reculée comparée à toutes les autres consonnes (seule /h/ vs /q χ/ est non significative). /q χ/ ont une position horizontale de la Minf située entre les vélares (différence non significative) et les pharyngales (différence non significative). La Minf durant /h/ est significativement plus reculée comparées à /s S t/, similaire à celle durant /b d T D l r k g/, mais plus avancée comparée à /q χ h/. Notons que /h/ présente un comportement très particulier. Sa hauteur varie significativement en fonction de la voyelle adjacente, alors que sa position horizontale reste quasi-stable (Table 3). Ce résultat, observé chez nos 3 locuteurs pris séparément, confirme que les mouvements de la Minf ne peuvent être réduits à une simple rotation.

### 3.3 Variations des positions de Minf durant /C/ en fonction des voyelles adjacentes

	b	s	S	t	d	T	D	l	r	k	g	q	χ	h	h
x-val	-0,2	-0,1	0,2	-0,2	0,3	0,2	0,1	0,7	0,2	1,1	1,1	0,3	1	1,1	0,1
a vs. i	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
y-val	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
a vs. i	1,4	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	2,5	2	2,3	2,5	1,9	-1,9	4,4	3,7
a vs. i	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***	***

TABLE 2 : Différences moyennes entre les valeurs de la position horizontale (x-val) et verticales (y-val) de /C/ dans aCa comparée à iCi (\*, p<0.05, \*\*, p<0.01, \*\*\*, p<0.001). (-) : différence négative

Nos données (TABLE 2) montrent que les variations de la position horizontale de la Minf durant chaque consonne dans aCa, comparée à sa correspondante dans iCi, sont moins importantes que les variations de sa position verticale. Par rapport à la dimension horizontale, les consonnes postérieures semblent subir un effet plus important du contexte vocalique comparées aux consonnes antérieures (différences moyennes plus faibles). Par rapport à la dimension verticale, les consonnes obstruantes coronales présentent les différences moyennes les plus réduites, alors que les pharyngales et les laryngales affichent les différences moyennes les plus importantes. La hauteur de la Minf est donc plus stable durant les obstruantes coronales, mais très influencée par le contexte vocalique durant les pharyngales et les laryngales, /b l r k g q x/ ont un comportement intermédiaire.

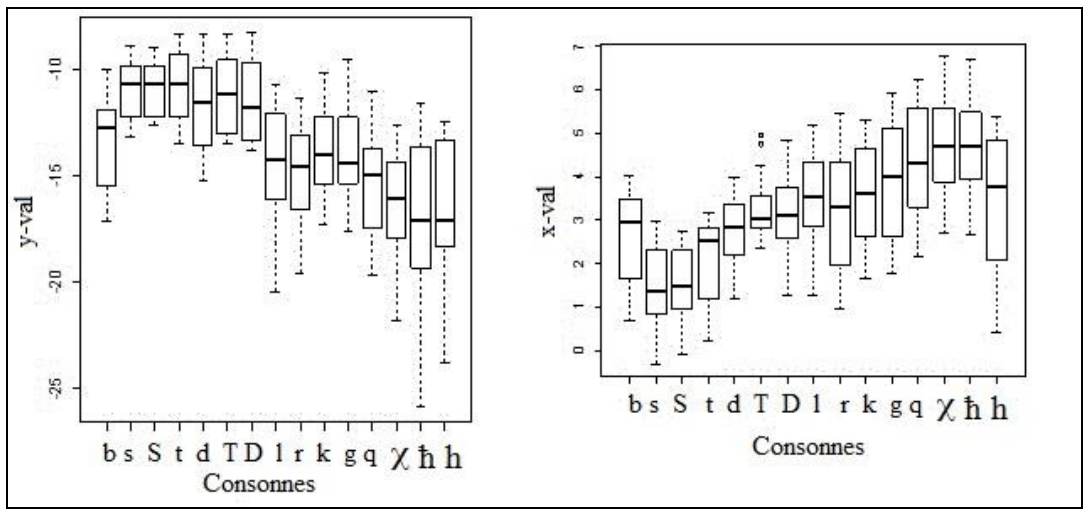


Figure 2 : Variation de la position verticale (à gauche) et horizontale (à droite) de la mâchoire inférieure (en mm) durant /b s S t d T D l r k g q χ ħ h/ de l'AM produites dans iCi et aCa. Chaque valeur correspond à la moyenne de 5 répétitions prononcées par 3 locuteurs dans les deux contextes.

	y-val			x-val		
	aCa	iCi	aCa + iCi	aCa	iCi	aCa + iCi
/b/	-14,1 (1,9)	-12,6 (2,4)	-13,3 (2,2)	2,2 (0,9)	2,4 (1,1)	2,6 (1,0)
/s/	-11,0 (1,3)	-10,9 (1,4)	-11,0 (1,4)	1,5 (0,9)	1,6 (1,1)	1,5 (1,0)
/S/	-10,9 (1,2)	-10,8 (1,4)	-10,9 (1,3)	1,7 (0,7)	1,4 (1,0)	1,7 (0,7)
/t/	-10,7 (1,6)	-10,7 (1,5)	-10,7 (1,5)	2,0 (0,9)	2,2 (1,0)	2,5 (1,0)
/d/	-11,8 (1,9)	-11,6 (2,3)	-11,7 (2,1)	2,9 (0,8)	2,6 (0,8)	2,9 (0,8)
/T/	-11,2 (1,6)	-11,2 (1,9)	-11,2 (1,7)	3,4 (0,8)	3,2 (0,6)	3,4 (0,8)
/D/	-11,5 (1,9)	-11,5 (1,8)	-11,5 (1,8)	3,3 (1,1)	3,1 (0,8)	3,3 (1,1)
/l/	-15,8 (2,6)	-13,4 (2,3)	-14,6 (2,7)	3,8 (1,0)	3,1 (1,0)	3,5 (1,0)
/r/	-15,8 (2,1)	-13,9 (2,2)	-14,8 (2,3)	3,3 (1,5)	3,1 (1,3)	3,2 (1,4)
/k/	-14,9 (1,6)	-12,7 (2,1)	-13,8 (2,2)	4,1 (1,1)	3,1 (0,9)	3,6 (1,1)
/g/	-15,2 (1,3)	-12,7 (2,0)	-13,9 (2,1)	4,3 (1,5)	3,2 (1,0)	3,8 (1,4)
/q/	-16,1 (1,8)	-14,3 (2,4)	-15,2 (2,3)	4,5 (1,5)	4,2 (1,0)	4,4 (1,3)
/x/	-17,2 (2,1)	-15,3 (2,2)	-16,2 (2,3)	5,2 (1,0)	4,2 (1,1)	4,7 (1,2)
/ħ/	-19,4 (3,3)	-15,0 (2,8)	-17,2 (3,7)	5,3 (1,2)	4,2 (0,9)	4,8 (1,2)
/h/	-18,5 (2,5)	-14,8 (2,3)	-16,7 (3,0)	3,4 (1,7)	3,3 (1,6)	3,3 (1,6)

TABLE 3 : Valeurs moyennes et (écart-type) de la position verticale (y-val) et horizontale (x-val) de la Minf (en mm) durant /b s S t d T D l r k g q χ ħ h/ prononcées 5 fois par 3 locuteurs dans aCa et iCi ainsi que dans ces deux contextes.

## 4 Conclusion

Cette étude a essayé d'expliquer les causes des variations des positions spatiales de la mâchoire inférieure durant plusieurs consonnes de l'arabe marocain ayant des lieux et modes d'articulation

différents et produites dans les contextes iCi et aCa. Nous avons montré que l'implication de la mâchoire inférieure est cruciale durant les obstruantes coronales /s S t T/. Le recul de la racine de la langue n'est pas nécessairement corrélé à la baisse de la Minf. De même que les consonnes apicales ne sont pas toujours associées à l'abaissement de la Minf. Nos données montrent également que la mâchoire inférieure ne semble pas être impliquée durant les laryngales et les pharyngales, ce qui est en accord avec les déductions de Goldstein (1994). Le dernier résultat majeur de notre étude montre que les mouvements verticaux (haut/bas) et horizontaux (avant-/arrière) de la Minf ne sont pas toujours corrélés ; les déplacements de la Minf durant la production des consonnes ne peuvent donc être réduits à un simple mouvement de rotation.

	b	t	d	T	D	s	S	l	r	k	g	q	χ	h	h
b		***	ns	**	*	***	***	ns	ns	Ns	ns	*	***	***	***
t			ns	ns	ns	ns	ns	***	***	***	***	***	***	***	***
d				ns	ns	ns	ns	***	***	**	**	***	***	***	***
T					ns	ns	ns	***	***	***	***	***	***	***	***
D						ns	ns	***	***	**	***	***	***	***	***
s							ns	***	***	***	***	***	***	***	***
S								***	***	***	***	***	***	***	***
l									ns	Ns	ns	ns	ns	***	**
r										Ns	ns	ns	ns	***	*
k											ns	ns	***	***	***
g												ns	**	**	***
q													ns	*	ns
χ														ns	ns
h															ns

TABLE 4 : Tests post-hoc TukeyHSD pour les positions verticales de la Minf (\*, p<0.05, \*\*, p<0.01, \*\*\*, p<0.001). La case noircie : Minf durant /C/ en colonne plus basse que /C/ en ligne.

	b	t	d	T	D	s	S	l	R	K	g	q	χ	h	h
b		ns	ns	ns	ns	**	*	Ns	Ns	*	**	***	***	***	ns
t			ns	**	*	ns	Ns	***	*	***	***	***	***	***	***
d				ns	ns	**	**	Ns	Ns	ns	*	***	***	***	ns
T						***	***	Ns	Ns	ns	ns	*	***	***	ns
D						***	***	Ns	Ns	ns	ns	***	***	***	ns
s							ns	***	***	***	***	***	***	***	***
S								***	***	***	***	***	***	***	***
l									Ns	ns	ns	ns	***	***	ns
r										ns	ns	**	***	***	ns
k											ns	ns	**	**	ns
g												ns	ns	*	ns
q													ns	ns	*
χ														ns	***
h															***

TABLE 5 : Tests post-hoc TukeyHSD pour les positions horizontales de la Minf (\*, p<0.05, \*\*, p<0.01, \*\*\*, p<0.001). La case noircie : Minf durant /C/ en colonne plus avancée que /C/ en ligne.



## Références

- DART S. (1991). “Articulatory and acoustic properties of apical and laminal articulations,” *UCLA Working Papers in Phonetics* 79, 1–155.
- ELGENDY A.M. (1999). Jaw contribution to the timing control of pharyngeal consonants production. *Proc. of the XIV<sup>th</sup> ICPHs*, San Francisco: 2415-2418.
- GOLDSTEIN L. (1994). Possible articulatory bases for the class of guttural consonants. In P. Keating (ed.) *Phonological Structure and Phonetic Form: Papers in Laboratory Phonology III*. Cambridge: Cambridge University Press, 234-241.
- HOOLE, P. & KÜHNERT, B. (1996). Tongue-jaw coordination in German vowel production. *Proc. of the 4th Speech Production Seminar*, Autrans, 97-100.
- JAKOBSON, R. (1962). Muffxxama, the 'emphatic' phonemes in Arabic. In E. Pulgram (ed.). *Studies presented to Jushua Whatmough on his 60th Birthday*. The Hague: Mouton.105-115.
- KEATING P., LINDBLOM B., LUBKER J., and KREIMAN J. (1994). “Variability in jaw height for segments in English and Swedish VCVs,” *J. Phonetics* 22, 407–422.
- LEE S.H. (1995). Orals, gutturals, and the jaw. In B. Connell and A. Arvaniti (eds.). *Phonology and phonetic evidence: Papers in Laboratory Phonology IV*. Cambridge: Cambridge University Press.
- LINDBLOM B. (1983). Economy of speech gestures. In P.F. MacNeilage (ed.), *The Production of Speech*, 217-245. New York: Springer.
- MOOSHAMMER C. HOOLE P. & GEUMANN A. (2007). Jaw and order, *Language Speech*50, 145-76.
- MOOSHAMMER C., HOOLE P., GEUMANN A. (2006). Interarticulator cohesion within coronal consonant production. *Journal of the Acoustical Society of America*, 120, 1028-1039.
- NOLAN, F. (1995). The role of the jaw active or passive?. In B. Connell & A. Arvaniti (eds.). *Phonology and Phonetic Evidence: Papers in Laboratory Phonology IV*. Cambridge: Cambridge University Press.
- RECASENS D. (2012). A study of jaw coarticulatory resistance and aggressiveness for Catalan consonants and vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*, 132, 412-420.
- SHADLE C. (1985). *The acoustics of Fricative Consonants*. PhD. Thesis MIT.
- ZEROUAL C., HOOLE P., FUCHS S., ESLING J.H. (2007). EMA study of the coronal emphatic and non-emphatic plosive consonants of Moroccan Arabic. *Proc. of the XVI<sup>th</sup> ICPHs*, Saarbrücken: 397-340.
- ZEROUAL C, HOOLE P, and ESLING J.H. (2011a). Contraintes articulatoires et acoustico-perceptives liées à la production de /k/ emphatisée en arabe marocain. In M. Embarki and C. Dodane (eds.), *La Coarticulation. Des indices à la représentation*, 227-240. Paris : L'Harmattan.
- ZEROUAL C, ESLING J.H, HOOLE P, and RIDOUANE R. (2011). Ultrasound study of Moroccan Arabic labiovelarization. *Proc. of the XVII<sup>th</sup> ICPHs*, Hong Kong.