

Etude par transillumination des consonnes occlusives simples et géminées de l'arabe marocain

Chakir Zeroual^{1&2}, Phil Hoole³ et Susanne Fuchs⁴

1. Université Sidi Mohamed Ben-Abdellah, Faculté Polydisciplinaire de Taza, BP. 1223 Taza, Maroc.

2. Laboratoire de Phonétique et Phonologie, Sorbonne-Nouvelle/CNRS-UMR7018, Paris-France.

3. Institut für Phonetik, Munich, Germany.

4. ZAS/Phonetik, Jaegerstr. 10-11. 10117, Berlin, Germany.

Chakirzeroual@yahoo.fr ; hoole@phonetik.uni-muenchen.de ; fuchs@zas.gwz-berlin.de

ABSTRACT

This study provides an acoustical and transillumination analysis of the laryngeal gestures responsible for VOT differences between voiceless plosives in Moroccan Arabic. The abduction and adduction phases and the interval between the maximal glottal opening and the release (MGO-REL) are longer during the geminate than during simple plosives. MGO-REL is shorter during the aspirated plosives than during unaspirated ones. Geminate plosives have a closure duration, a total duration and MGO that are larger than their simple correspondents. The closure duration is longer during unaspirated plosives than during aspirated ones. The voiceless geminate plosives have the same values of the VOT as their simple counterparts.

1. INTRODUCTION

L'arabe marocain (AM) possède huit consonnes occlusives (Tableau 1) qui peuvent être simples ou géminées. Une analyse précédente [15] assez exhaustive (données de 10 locuteurs) a montré qu'à l'initiale de mot les occlusives simples [b d g D] ont un VOT négatif et [t T k q] un VOT positif dont la durée varie de manière assez importante ([k] : 59msec, [t] : 61msec, [q] : 37msec, [T] : 22msec).

Tableau 1 : Consonnes occlusives de l'AM. Emph = Emphatique et renvoie à l'articulation secondaire "d'uvularisation" qui s'ajoute à [t d] pour donner [T D].

| | Bilabiale | Coronale | Vélaire | Uvulaire |
|-----------|-----------|----------|---------|----------|
| non-Emph. | b | t d | k g | q |
| Emph. | | T D | | |

[t k T q] de l'AM sont assez particulières. En effet, même si [t k] possèdent un VOT très long elles n'ont pas les mêmes propriétés auditives des occlusives aspirées de l'anglais). Cette caractéristique existe aussi dans plusieurs dialectes arabes, et la caractérisation phonétique précise de [t k T q] n'est pas la même chez tous les auteurs [15, 16].

Les analyses acoustiques ne sont pas suffisantes pour l'identification des trois événements acoustiques qui peuvent être observés durant le bruit de relâchement

(explosion + friction + aspiration) des occlusives sourdes. En effet, la séparation entre ces événements sur les spectrogrammes n'est pas très évidente. D'autres analyses phonétiques sont donc utiles pour mieux caractériser phonétiquement ces occlusives sourdes. Dans la suite de cette présentation, nous considérons [t k] comme des occlusives aspirées et [T q] des occlusives non aspirées. "Aspiré" est, ici, synonyme de "bruit de relâchement (ou VOT positif) très long". Cette interprétation est basée sur les durées du VOT (tableau 2) de [t k q T] produites par le locuteur qui a participé aux expériences phonétiques discutées dans ce travail.

Le but principal de cette étude est de caractériser les ajustements articulatoires laryngaux des occlusives sourdes simples et géminées. Nous essayerons d'expliquer leurs relations avec les ajustements supralaryngaux pour rendre compte des différences observées au niveau du VOT durant ces consonnes. Les occlusives voisées seront analysées dans un travail séparé. Cette étude se base aussi sur les résultats des analyses acoustiques et physiologiques précédentes [14, 15]. Elle se démarque de ces dernières par deux aspects principaux : (i) utilisation de la transillumination qui permet une identification plus précise des différentes phases du geste glottique ; (ii) comparaison entre les propriétés acoustiques et physiologiques des occlusives simples et géminées.

2. MATERIEL ET METHODE

Durant une expérience par transillumination, un endoscope flexible a été inséré à travers les fosses nasales d'un locuteur (38 ans). Sur la surface externe de son cou ont été placées deux cellules photoélectriques PGG1 (entre les cartilages thyroïde et cricoïde) et PGG2 (en bas du cricoïde) pour capter la quantité de lumière, émise par l'endoscope, qui passe à travers la glotte et qui est proportionnelle à son degré d'ouverture. L'analyse a été faite sur les signaux obtenus par PGG2 puisqu'ils étaient plus stables (moins influencés par les mouvements du larynx et de l'épiglotte). Durant cette expérience, des enregistrements vidéo ont été également effectués.

Ce locuteur a répété plusieurs fois un corpus composé de mots et de quelques non-mots de l'AM contenant presque toutes les consonnes simples (contexte [-iCi]) et géminées (contexte [-iCCi-]). Nous présentons ici les résultats de [t T k q] et [t T k q].

Les films vidéo ont été analysés par Adobe Premiere7, les images par Adobe Photoshop7, les données audio par Praat, les données transillumination par Matlab et les analyses statistiques par StatView.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Bien que [t k q T] simples et géminées soient sourdes, les tracés par transillumination montrent que seules [t k q] développent, à l'intervocalique, des phases d'abduction et d'adduction clairement définies. La fibroscopie montre que [t k q] simples et géminées sont produites avec une ouverture glottique assez importante, accompagnée d'un écartement entre les aryténoïdes. Par contre, durant [T TT], les aryténoïdes restent collés, et seule la partie antérieure de la glotte s'ouvre très légèrement. Il semble que seules [t tt k kk q qq] possèdent un geste actif d'abduction. L'abduction de la partie antérieure de la glotte durant [T TT] serait passive provoquée très probablement par l'augmentation de la pression intraorale (Po). Ces hypothèses sont développées dans un travail séparé comprenant aussi l'analyse acoustique et physiologique des occlusives voisées simples et géminées.

Nous présentons, ici, une analyse acoustique assez exhaustive de [t tt k kk q qq T TT] (Tableau 2) qui regroupent (i) la mesure de la durée de la phase d'occlusion (OCC), (ii) la durée du VOT (VOT) et (iii) la durée totale (DTL : occlusion+VOT). Par contre l'analyse du cycle glottique (abduction+adduction) concernera uniquement [t tt k kk q qq]. Elle comporte (iv) la mesure de la durée de l'intervalle entre le début de l'occlusion et le moment de l'ouverture glottique maximale (OCC-OGM), que nous considérons ici comme représentant la phase d'abduction, (v) la durée de l'intervalle entre l'OGM et le relâchement (OGM-REL), (vi) ainsi que la durée entre l'OGM et le début de la voyelle suivante (OGM-VOY), que nous considérons ici comme représentant la phase d'adduction. Nous avons également mesuré (unités arbitraires) (vii) le degré de l'ouverture glottique maximale (OGM), ainsi que (viii) la vitesse du geste d'adduction (VEL).

3.1 Consonnes simples

Trois tests séparés ANOVA à un seul facteur montrent que la durée de l'occlusion (OCC : [F(7, 32) = 116,77 ; p<0,001]), la durée totale (DTL : [F(7, 32) = 90,13 ; p<0,001]) et celle du VOT ([F(7, 32) = 50,82 ; p<0,001]) varient de manière significative en fonction de la nature des consonnes [t tt k kk q qq T TT]. Dans cette présentation, nous nous baserons sur les Tests PLSD de Fisher pour interpréter les analyses a posteriori.

[t k] (p=0,29) et [T q] (p=0,12), comparées entre elles, montrent qu'elles ont des VOT statistiquement identiques. Cependant le VOT est beaucoup plus long durant [t k] que durant [T q] (p<0,001). La durée de l'occlusion est statistiquement similaire durant [T q] (p=0,18) et [t k] (p=0,90), mais significativement plus longue durant [T q]

comparées à [t k] (p<0,01). Ce résultat rejoint les observations faites par d'autres auteurs [1 4 7] montrant que les occlusives sourdes non aspirées ont généralement une occlusion plus longue que les occlusives aspirées.

La durée totale (DTL) est statistiquement similaire durant [t k] (p=0,42) et [q T] (p=0,91). Elle est significativement supérieure durant [t k] comparées [q T] (p<0,025), même si ces dernières ont une occlusion plus longue que les premières. Cette différence est à attribuer à la durée très importante du VOT durant [t k]. Des différences par rapport à la durée de l'occlusion ont été mentionnées par d'autres auteurs [1 4]. Selon Maddieson [8] "the consonant gesture is timed in some way that directly relates to the time of the pressure peak, then broadly speaking, the further back in the oral cavity a stop closure is formed, the shorter its acoustic closure duration will be". Nos données vont à l'encontre de cette hypothèse qui prédit que l'occlusion de [q] serait la plus brève. Notons que des analyses aérodynamiques [14] montrent qu'en AM Po durant [t k q] n'est pas significativement différente.

Cinq autres tests séparés ANOVA à un seul facteur montrent que les cinq mesures relevées sur la courbe de la vitesse varient significativement en fonction des consonnes [t tt k kk q qq T TT] (OCC-OGM : [F(5, 24) = 42,76 ; p<0,001] ; OGM-REL : [F(5, 24) = 30,68 ; p<0,001]; OGM-VOY : [F(5, 24) = 34,86 ; p<0,001] et VEL : [F(5, 24) = 36,94 ; p<0,001]) et sur la courbe de l'ouverture glottique (OGM : [F(5, 24) = 8,87 ; p<0,001]). Là aussi, nous nous baserons sur les tests PLSD de Fisher pour interpréter les analyses à posteriori.

La durée entre le début de l'occlusion et le moment de l'ouverture glottique maximal, que nous assimilons à la phase d'abduction, est statistiquement identique durant [t q k]. L'OGM est atteinte très légèrement avant le relâchement durant [t k] (p=0,61) et significativement plus en avant durant [q] (p<0,01). L'OGM est similaire durant [t k] (p=0,09), mais significativement plus grande durant [q] (p<0,001), malgré cela, le geste d'adduction durant [q] a une durée totale qui est significativement plus courte que [k] (p<0,05) et [t] (p<0,001). Deux hypothèses peuvent être avancées concernant les différences par rapport à la durée de l'adduction.

En effet, le degré de l'OGM et la vitesse du geste glottique peuvent être directement contrôlés en fonction des valeurs du VOT (voir aussi [5] et [7]). Cette hypothèse peut expliquer le comportement particulier de [q] qui possède une durée d'adduction plus courte malgré une OGM plus importante. Les valeurs de la vitesse présentent un argument en faveur de cette hypothèse, puisque [q] possède la valeur la plus importante de la vitesse comparée à [k] (p<0,05) et [t] (p<0,001).

L'autre explication pour l'adduction plus courte durant [q] est à rechercher au niveau des contraintes aérodynamiques pendant le relâchement. En effet, selon Stevens [13], plus la surface du contact supralaryngal est étendue plus le relâchement est retardé par la succion créée

par l'effet de Bernoulli. Ce dernier ralentit la baisse de Po qui elle-même ralentit la vitesse d'adduction des cordes vocales et allonge la durée du VOT. Les données aérodynamiques [14] montrent que Po baisse plus rapidement durant [q] comparée à [t k]. Ce résultat combiné avec l'hypothèse de Stevens suggèrent que [t k] seraient produites avec une surface de contact plus étendue, comparés à [q], ce qui rallonge indirectement la phase d'adduction de [t k]. Cet effet est plus marqué durant [t k], puisque l'adduction est amorcée immédiatement avant le relâchement. L'hypothèse d'une surface de contact moins étendue est proposée aussi par Cho et al [1] pour expliquer la durée très faible du VOT de [q] dans d'autres langues.

3.2 Consonnes géminées

La durée totale (DTL) et de la phase d'occlusion (OCC) de [tt kk qq TT] sont significativement plus grandes ($p < 0,001$) que [t k q T] (rapports géminée/simple respectivement égal à 1,50 et 1,81). Nos analyses montrent que ce rapport géminée/simple, concernant DTL, est légèrement inférieur à celui obtenu, par exemple, pour des occlusives sourdes en arabe irakien (1,73) [3].

La durée du VOT reste statistiquement similaire lorsque nous passons de la forme simple à la forme géminée. Notons que le VOT des géminées est légèrement plus court comparées aux simples, cette baisse est plus importante durant [TT]. Des différences non significatives de la durée du VOT entre les occlusives simples et géminées, avec une valeur légèrement plus faible pour les géminées, apparaissent aussi dans les données d'autres travaux [2, 11]. Les différences au niveau du VOT entre les géminées sont parallèles à celles observées entre les simples : pas de différences entre [tt kk] ($p = 0,17$) et entre [TT qq] ($p = 0,31$), alors que le VOT est beaucoup plus long durant [tt kk] comparées à [T q] ($p < 0,001$).

La différence, par rapport à la durée de l'occlusion, entre [TT] et [qq] ($p = 0,124$) ainsi qu'entre [tt] et [kk] ($p = 0,124$) reste non significative. Par contre, [TT qq] possèdent une durée de l'occlusion qui est significativement supérieure à celle de [tt kk] ($p < 0,01$). Comme pour les occlusives sourdes simples, la durée de l'occlusion est donc plus longue durant les géminées non aspirées comparées aux géminées aspirées. Malgré ce dernier résultat, les différences entre les durées totales de [tt kk qq TT] ne sont pas statistiquement significatives.

L'OGM est atteinte beaucoup plus en retard durant [tt kk qq] que durant [t k q] ($p < 0,001$), mais comme durant [t k q], l'OGM est atteinte pratiquement au même moment durant [tt kk qq]. Par rapport au relâchement l'OGM est atteinte en général beaucoup plus tôt durant les géminées que durant les simples ($p < 0,001$), elle est aussi relativement plus proche du relâchement durant [tt kk] ($p = 0,59$) comparées à [qq] ([tt kk] vs [qq], $p < 0,02$).

Seules [tt] et [kk] présentent des OGM significativement plus importantes que leurs correspondantes simples [t] ($p < 0,01$) et [k] ($p < 0,01$), la différence entre [qq] et [q] reste non significative ($p = 0,09$). La durée de la phase d'adduction ($p < 0,001$) et la vitesse ($p < 0,02$) sont plus importantes durant les géminées comparées à leurs correspondantes simples. Les valeurs plus importantes de la vitesse durant les géminées sont globalement attendues si nous considérons que globalement les géminées ont une OGM plus importante que les simples. En effet, les analyses articulatoires montrent, en générale, une corrélation positive entre l'amplitude et la vitesse du mouvement des gestes articulatoires [9].

Comme pour les consonnes simples, [qq] présente l'OGM la plus importante suivie de [kk] et enfin de [tt], toutefois seule la comparaison [qq] vs [tt] est significative ($p < 0,04$). [kk] présente une vitesse qui est plus importante significativement de [qq] et non significativement de [tt]. Les tests à posteriori montrent que la durée de la phase d'adduction reste statistiquement similaire durant [tt kk qq], malgré les différences au niveau des valeurs de l'OGM et de la vitesse. Ce résultat nous rapproche de certaines observations faites au niveau des gestes supralaryngaux qui montrent "no systematic relationship between either displacement or maximum velocity and the duration of the gesture (Kent and Moll, 1969, 1972; Kent and Netsell, 1971; Kuehn and Moll, 1976; Ostry et al., 1983) [9].

4. CONCLUSION

Nos analyses acoustiques montrent que les occlusives géminées possèdent une durée de la phase d'occlusion et une durée totale qui sont très supérieures à celles de leurs correspondantes simples. Les occlusives sourdes non aspirées, simples ou géminées, ont une durée de l'occlusion qui est plus longue que leurs correspondantes aspirées. Cependant, les occlusives sourdes géminées ont les mêmes valeurs du VOT que leurs correspondantes simples.

Nos analyses articulatoires ont montré que les phases d'abduction et d'adduction et la durée entre l'ouverture glottique maximale et le relâchement sont plus longues durant les géminées comparées aux simples. Par contre, l'OGM est plus proche du relâchement durant les occlusives aspirées, simples ou géminées, comparées à leurs correspondantes non aspirées. L'OGM est généralement plus importante durant les occlusives sourdes géminées que durant leurs correspondantes simples.

L'analyse en cours d'autres données EMA devra nous aider à expliquer si les différences temporelles et spatiales observées au niveau du geste glottique sont dues aux ajustements laryngaux et/ou à l'action des contraintes aérodynamiques.

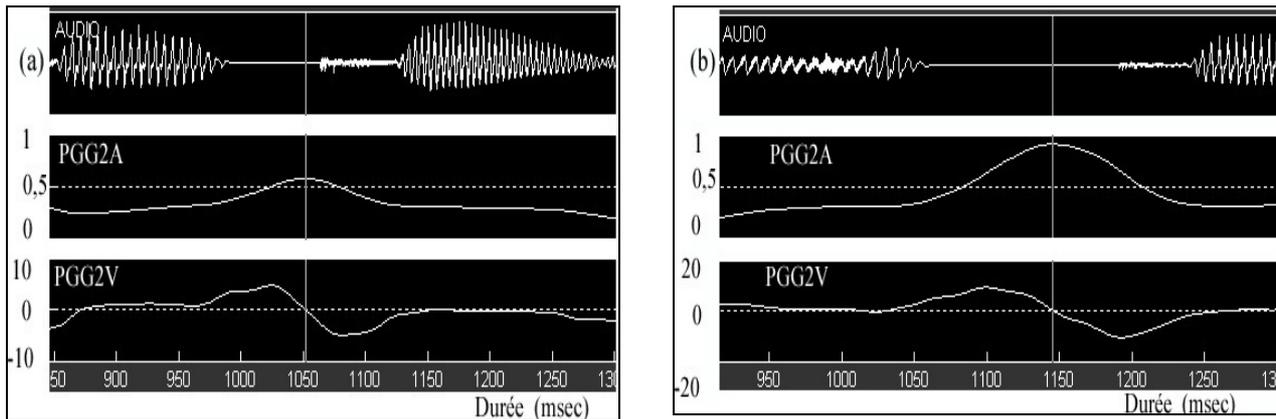


Figure 1 : Tracés de la courbe de l'aperture glottique (PGG2A) obtenue par transillumination, ainsi que la courbe de la vitesse (PGG2V) calculée sur la première durant les séquences [-iki-] (a) et [-ikki-] (b) extraites des items [fiki] et [zikkit] de l'AM. Notons que l'axe des 'y' de PGG2V de (a) et (b) n'a pas la même échelle.

Table 2 : Moyennes et écartypes des mesures articulatoires et acoustiques relevées durant [t k q T] simples dans [-iCi-] et géminées dans [-iCCi-] : durées (msec) des intervalles entre le début de l'occlusion et l'ouverture glottique maximale (OCC-OGM), entre l'OGM et le relâchement (OGM-REL), entre l'OGM et le début de la voyelle suivante (OGM-VOY), durée totale de la consonne (DTL), de l'occlusion (OCC), du VOT et enfin le degré de l'OGM et la vitesse de la phase d'adduction (VEL) [unités arbitraires]. Chaque valeur correspond à 5 répétitions produites par un seul locuteur.

| | OCC-OGM | OGM-REL | OGM-VOY | OGM | VEL | DTL | OCC | VOT |
|------|-----------|----------|---------|-------------|-------------|----------|----------|---------|
| [t] | 73 (9) | -4 (9) | 70 (6) | 0,36 (0,05) | 1,70 (0,58) | 143 (5) | 76 (6) | 66 (4) |
| [k] | 71 (4) | -7 (10) | 68 (8) | 0,50 (0,07) | 3,44 (1,03) | 138 (8) | 77 (7) | 61 (10) |
| [q] | 71 (6) | -23 (13) | 55 (10) | 0,64 (0,09) | 5,44 (1,59) | 126 (6) | 94 (11) | 31 (10) |
| [T] | | | | 0,28 (0,04) | | 126 (7) | 102 (5) | 25 (2) |
| [tt] | 107 (6) | -34 (6) | 98 (8) | 0,64 (0,09) | 6,48 (1,87) | 205 (11) | 141 (7) | 64 (5) |
| [kk] | 105 (8) | -45 (5) | 104 (8) | 0,72 (0,19) | 9,08 (2,34) | 209 (14) | 150 (9) | 59 (5) |
| [qq] | 105 (1,5) | -61 (9) | 90 (2) | 0,82 (0,16) | 7,64 (0,38) | 195 (3) | 166 (8) | 29 (7) |
| [TT] | | | | | | 191 (11) | 174 (10) | 17 (1) |

BIBLIOGRAPHIE

- [1] T. Cho, and P. Ladefoged. Variation and universals in VOT: evidence from 18 languages. *Journal of Phonetics* 27: 207-229, 1999.
- [2] A. Cohn, W.H. Ham, and R.J. Podesva. The phonetic realization of singleton-geminate contrasts in three languages of Indonesia. *Proceedings of the XIVth ICPHS*, San Francisco, pp. 587-590, 1999.
- [3] Z. M. Hassan. Gemination in Swedish and Arabic with a particular reference to the preceding vowel duration. An instrumental & comparative approach. *TMH-QPSR* Vol. 44: 81-84, 2002.
- [4] P. Hoole, "Laryngeal Coarticulation. Section A: Coarticulatory investigations of the devoicing gesture". In: W.H. Hardcastle and N. Hewlett (eds.), *Coarticulation: Theory, Data and Techniques*. Cambridge University Press, pp. 105-121, 1999.
- [5] DW. Kim, H. Hirose, and S. Niimi. A fibroscopic study of laryngeal gestures for Korean intervocalic stops. *Ann Bull RILP* No.26: 13-29, 1992.
- [6] P. Ladefoged and I. Maddieson. *Sounds of the worlds languages*. Oxford: Blackwells, 1996.
- [7] A. Löfqvist. Interarticulator programming in stop production. *Journal of Phonetics* 8: 475-490, 1980.
- [8] I. Maddieson. Phonetic Universals. In *The handbook of phonetic sciences* (J. Laver & W. J. Hardcastle, eds). Oxford: Blackwells, pp. 619-639, 1997.
- [9] A. Parush, D.J. Ostry, and K.G. Munhall. A kinematic study of lingual coarticulation in VCV sequences. *J. Acoust. Soc. Am.* 74 (4) : 1115-1125, 1983.
- [10] M. Pétursson. Aspiration et activité glottale. Examen expérimental à partir de consonnes islandaises. *Phonetica* 33 : 169-198, 1976.
- [11] R. Ridouane. Gemimates vs. Singleton Stops in Berber : An Acoustic, Fiberscopic and Photoglottographic study. *Proceedings of the XVth ICPHS*, Barcelona, pp. 1743-1746, 2004.
- [12] M. Sawashima. and H. Hirose. Laryngeal gestures in speech production. *Ann. Bull. RILP*. 14: 29-51, 1980.
- [13] K. N. Stevens. *Acoustic phonetics*. Cambridge: MIT Press, 1999.
- [14] C. Zeroual. "Etude aérodynamique et acoustique des occlusives emphatiques et non-emphatiques de l'arabe marocain", *XXIVèmes Journées d'Etude sur la Parole*, 24-27 June, Nancy, France, pp. 365-368, 2002.
- [15] C. Zeroual. *Propos controversés sur la phonétique et la phonologie de l'arabe marocain*. Thèse de Doctorat, Université de Paris 8, 2000.
- [16] C. Zeroual, Affrication. In: M. Eid, A. Elgibali, K. Versteegh, M. Woidich, and A. Zaborski, ed. *Encyclopedia of Arabic Language and Linguistics*. Leiden: Brill Academic Publishers, 2005.