

Réalisations phonétiques des suites [tr] en arabe marocain : données par EMA et par endoscopie

Chakir Zeroual^{1&2}, Phil Hoole³, John, H. Esling⁴ et Lise Crevier-Buchman^{5&2}

1. Faculté Polydisciplinaire de Taza, BP. 1223 Taza, Maroc. 2. Laboratoire de Phonétique et Phonologie, CNRS-UMR7018, Paris. 3. Institute of Phonetics and Speech Processing, University of Munich. 4. Department of Linguistics, University of Victoria, Canada. 5. Hôpital Européen Georges Pompidou, Paris, France.
chakirzeroual@yahoo.fr ; hoole@phonetik.uni-muenchen.de ; esling@uvic.ca ; buchman@numericable.fr

ABSTRACT

This study confirmed that the variations of the duration of the VOT between three voiceless coronal consonants in Moroccan Arabic (/t^s/, [T] [t]) are controlled by supralaryngeal and laryngeal adjustments. The EMA analysis showed that affricated [t^s] had a laminal contact and an important jaw elevation during its release. [T] and the non-affricated [t] in [tr] are apical consonants produced with a lower jaw position during the release. These supralaryngeal differences between [t^s] and [t] result from coarticulation with [r]. Endoscopic analysis showed a more important glottis opening during [t^s] compared to its allophone [t] produced before [r].

Keywords: EMA, endoscopy, VOT, apical, laminal.

1. INTRODUCTION

L'emphatique coronale [T] de l'arabe marocain (AM) se distingue de sa correspondante non emphatique [t] par l'articulation secondaire de pharyngalisation et son VOT plus court (tableau 1). Le burst de [t] reste très long et très strident même dans la voix chuchotée [10] ; elle est donc une consonne spirantisée que nous représentons ici par [t^s] (voir aussi [3]).

Des études précédentes ont montré que ces différences de durée du VOT entre [t^s] et [T] sont contrôlées par : (i) Les ajustements laryngaux : OGM (ouverture glottique maximale) plus importante et plus proche du relâchement durant [t^s] comparée à [T] [11, 12]. Ces résultats rejoignent les analyses qui montrent, en général, des corrélations positives entre la durée du VOT et le degré de l'OGM et sa position par rapport au relâchement [8]. (ii) Les ajustements supralaryngaux : [t^s] est laminaire et [T] apicale [13] ce qui en accord avec la tendance universelle : « if a language has both an apical and a laminal stop consonant, then the laminal consonant is likely to be more affricated » [6]. Au moment du relâchement, la mâchoire inférieure est plus élevée durant [t^s] comparée à [T] [13]. Mooshammer et al. [7] ont relevé des positions similaires de la mâchoire inférieure durant /t/ de l'allemand, qu'ils considèrent comme une stratégie pour renforcer les propriétés spectrales du burst.

Cette étude intègre pour la première fois, à notre connaissance, des données articulatoires d'une autre coronale sourde non emphatique de l'AM produite avec un VOT court. Nous l'analysons comme variante combinatoire de /t^s/, puisqu'elle apparaît toujours suivie de [r] non emphatique. Cette variante, que nous notons [t], peut être radicale ([sɑr+a] «protéger») ou affixe ([t+reggeb] «regarder»). Elle est rarement mentionnée par les auteurs, et peut être parfois optionnelle. L'abrègement du VOT de [t^s] est observé également devant [r] emphatique, mais ce contexte ne sera pas traité dans cette étude. En fait, [r] non géminé de l'AM est généralement une consonne battue (ou *tap consonant*) : [r] (désormais retenue). L'AM a une autre consonne similaire à [t] qui apparaît dans les emprunts au français ou à l'espagnol non suivie d'une voyelle haute [3] ; par contre cette adaptation se fait par [t^s] devant les voyelles hautes. Ces adaptations sont liées au fait, qu'en espagnol ou en français, le VOT de [t] non suivie de [i] est plus bref, mais plus long devant [i].

Cette étude (données exhaustives par EMA et complémentaires par endoscopie) est une contribution à l'identification des synergies articulatoires responsables des différences de durée du VOT entre les occlusives en général et les coronales sourdes de l'AM [t^s T] et [t] (dans [tr]) en particulier.

2. METHODE ET MATERIEL

2.1. Expérience 1 : EMA

2 locuteurs marocains S1 et S2 (males, 25 et 27 ans) ont participé à une expérience EMA tridimensionnelle (AG500, Carstens Medizinelektronik [4]).

Un corpus très large de mots et non-mots de l'AM a été enregistré, où les items ont été prononcés 8 fois dans la phrase cadre [galha__hnaya] « il lui a dit ici ». Les mots analysés ici sont : [ma₁t^sa₂b] « ne pas se repentir », [ma₁Ta₂b] « ne pas cuir », [ma₁ra₂b] « ne pas s'effondrer » et [sa₁tra₂h] « elle le protège ». Dans tous ces mots, [a₂] est accentuée. Aucune consigne n'a été donnée aux locuteurs concernant les suites [tr].

Les positions spatiales et temporelles de quatre capteurs posés sur la pointe (TTIP) la partie médiane

(TMID) et le dos (TDOR) de la langue, ainsi que sur la mâchoire inférieure (JAW) ont été mesurées durant [t^s T r] dans [aCa] et [t] dans [tr]. Les mesures de TTIPy et JAWy ont été identifiées dans 7 positions différentes (Fig. 2) à partir de leurs courbes de vitesse grâce à un programme développé à *Haskins Laboratories* par Marke Tiede. Ces positions correspondent aux: (i) début de la phase de fermeture, (ii) sa vitesse maximale, (iii) fin de cette phase, (iv) la hauteur maximale, (v) début de la phase d'ouverture, (vi) sa vitesse maximale, (vii) fin de cette phase. Le début (i) et la fin (iii) de la phase de fermeture (ou d'ouverture : v et vii) correspondent aux positions où la vitesse atteint une valeur qui est 20% celle de sa vitesse maximale. Puisque, durant ces coronales, TMIDy ne développe pas toujours un geste vertical avec ses phases de fermeture et d'ouverture, ses données ont été mesurées de manière synchrone avec les positions (i, iii, iv, v, vii) de TTIPy. Les mesures EMA ont été traitées par Matlab, et les analyses statistiques (tests ANOVA à un seul facteur, test-t) par Excel et StatView.

2.2. Expérience 2 : endoscopie

Un nasofibroscope (Olympus ENF-P3) a été placé proche du larynx d'un locuteur marocain S3 (male, 36 ans). Grâce à une micro caméra (Olympus OTV-SF, 25 images/seconde) et un magnétoscope (Sony SVO-9500MDP) les postures de la cavité laryngée ont été enregistrées et traitées par Adobe Premiere et Adobe Photoshop. S3 a produit les mots de l'AM [satin] « protéger » et [bentrin] « peindre » avec les deux prononciations : [t] vs [t^s] afin de comparer les ajustements laryngaux durant ces deux allophones. Notons que les données de cette deuxième expérience sont moins exhaustives que celles de la première.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Mesures acoustiques

Seules 5 répétitions sur 8 prononcées par S1 et 6/8 par S2, qui ont été réalisées [sarah], sont retenues pour les mesures acoustiques et physiologiques de [t] (tableau 1). Les durées totales de [t^s T] sont assez proches ($p=0,56$), mais supérieures à [t] ($p<0,02$; tests post-hoc PLSD de Fisher). Le VOT est plus long durant [t^s], intermédiaire durant [t] et faible durant [T] (les 3 oppositions sont significatives : $p<0,01$). La durée de l'occlusion suit une gradation inverse (les 3 oppositions sont significatives : $p<0,02$). Ces données confirment les différences par rapport au VOT entre [t^s t], ainsi que la corrélation négative entre la durée de l'occlusion et celle du VOT. Dans [tr], un vocoïde très court sépare le VOT de [t] et l'occlusion de [r] (Fig. 3). Les études typologiques montrent que [r] préfère la position intervocalique où la perception de son occlusion très

brève, son indice acoustique majeur, est optimale [1, 9]. Le vocoïde devant l'occlusion de [r] remplirait cette fonction perceptive.

3.2. Mesures physiologiques : EMA

Toutes les positions temporelles (i, ii, iii, iv, v, vi) identifiées sur les tracés de JAWy et TTIPy (Fig. 3) ont été mesurées (alignées) par rapport au moment du relâchement acoustique. Ces durées absolues ont été, ensuite, divisées par la durée de l'occlusion afin d'obtenir des mesures normalisées (voir aussi [7]).

Chez S1 et S2 et comparé à [T r t], TMID monte de manière très substantielle durant [t^s] et reste dans une position très élevée au moment du relâchement (Fig. 3). Ces résultats montrent clairement une contribution de la lame de la langue à l'allongement du VOT de [t^s]. [t^s] est donc laminaire et [T r] et même [t] sont apicales. Dans Zeroual el al. [13], il a été soutenu que la baisse de TMID durant [T] serait un geste actif qui renforce l'effet acoustique (baisse de F2 et augmentation de F1) de la pharyngalisation. Cette hypothèse se vérifie surtout chez S1 (Fig. 3) où TMID baisse de manière très substantielle. Dans [tr] (Fig. 2), toute la langue recule à partir du moment de relâchement de [t], de même TTIP et TIMD sont plus reculés et plus élevés durant [r] comparé à [t]. Ce recul de la langue durant [r] serait nécessaire pour que TTIP puisse monter, dans une région où la paroi supérieure est plus haute, sans effectuer un contact prolongé contre cette dernière qui allongera l'occlusion et rapprochera [r] de [d]. Nous pensons que la position plus basse de TMID durant [r] facilite le recul et surtout la montée plus importante de TTIP. Les gestes de TTIP et notamment de TMID durant [r] sont donc incompatibles avec ceux observés durant [t^s], ce qui expliquerait pourquoi TMID durant [t] dans [tr] est presque dans les mêmes positions verticales qu'il a durant [r] chez S1 et S2 (Fig. 3).

Durant [t^s], produites par S1 et S2, JAWy maximale est plus proche du relâchement comparée à [T t] ; JAW commence à baisser après le relâchement de [t^s], et avant le relâchement de [T t]. Au moment du relâchement de [t^s], JAW reste dans une position très haute très probablement pour faciliter le contact laminaire et renforcer ainsi les propriétés spectrales du bruit de relâchement. Chez S1 ($p=0,76$) et S2 ($p=0,25$), JAWy maximale est identique durant [t^s T] ce qui est en accord avec les données d'un autre locuteur marocain [13]. Même durant [t], la hauteur maximale de JAW est statistiquement identique à celle de [t^s] chez S1 ($p=0,23$) et S2 ($p=0,48$). Ces résultats ajoutent un autre argument qui montre qu'une occlusive coronale apicale (ici [T t]) n'est pas toujours associée à une position plus basse de JAW comme cela avait été suggéré dans des études précédentes [2]. La position élevée de JAW durant [T] serait aussi pour empêcher une baisse excessive de TTIP liée à la rétraction de la

racine de la langue due à la pharyngalisation. JAW reste dans une position très abaissée durant [r] dans [aCa] et baisse durant [r] de [atra], très probablement pour permettre à TTIP de monter et descendre sans saturer son geste par un contact prolongé contre la paroi supérieure.

Par rapport au relâchement, la position de TTIPy maximal (Fig. 3) est très similaire durant [t^s T t] Chez S2, mais plus proche du relâchement durant [t^s] comparée à [T t] chez S1 (S1 : [t^s] vs. [T] et [t^s] vs. [t], p<0,001). TTIP commence à baisser au moment du relâchement de [t^s T t] chez S2, mais après le relâchement de [t^s] et avant le relâchement de [T t] chez S1 (S1 : [t^s] vs. [T] et [t^s] vs. [t], p<0,001). Chez S1, TTIPy maximal est alignée proche du relâchement de [t^s], où sa hauteur est plus élevée comparé à [T t], très probablement pour participer au renforcement des propriétés spectrales du VOT. Chez S1, TTIPy maximal est plus élevé durant [t^s], suivie de [r], [T], puis [t] (seule [t^s] vs. [r] n'est pas significative, p=0,10), par contre chez S2, TTIPy maximal suit la gradation suivante : [r] > [t] > [T] > [t^s] (seules [T] vs [t^s] p=0,98 et [T] vs [t] p=0,66 ne sont pas significatives). Comparée à [t^s], la position de TTIPy est identique durant [T] chez S2 et inférieure chez S1 due très probablement à la pharyngalisation qui est plus importante chez S1 comparée à S2 (position maximale de TDORx plus reculée et de TMIDy plus abaissée chez S1 comparé à S2 (Fig. 3).

3.3. Mesures physiologiques : endoscopie

Le tableau 1 comporte les valeurs moyennes de la surface de l'ouverture glottique maximale (OGM) relevée directement sur les images obtenues par endoscopie (Fig. 1). Ces mesures sont faites sur 6 répétitions de [t] et 6 de [t^s] prononcées par le troisième locuteur (S3). Les OGM données en cm² ne sont pas réelles mais arbitraires, puisque les enregistrements par endoscopie sont en général non calibrés.

Nos analyses montrent que l'OGM de [t^s] est significativement supérieure à celle de [t] (t(5) = 7,20 ; p<0,001). Ces mesures semblent indiquer que l'abrégement du VOT dans [tr] n'est pas lié uniquement à la coarticulation supralaryngale entre [t] et [r] (voir section 3.2), mais également à des différences au niveau des ajustements laryngaux.

4. CONCLUSION

Les différences de durée du VOT, en AM, entre la coronale emphatique [T], la non emphatique sourde /t^s/ et sa variante non spirantisée [t] (dans [tr]) sont contrôlées par les ajustements supralaryngaux et laryngaux. En effet, une analyse EMA montre que [t^s] spirantisée a un contact laminaire et une montée très importante de la mâchoire inférieure durant son

relâchement. Alors que l'emphatique [T] et la variante non spirantisée [t] de /t^s/ qui apparaît devant [r] sont apicales produites avec une position plus basse de la lame de la langue et de la mâchoire inférieure durant le relâchement. Ces différences supralaryngales entre [t^s] et [t] sont dues à la coarticulation avec [r]. Une analyse endoscopique montre une ouverture glottique maximale plus importante durant [t^s] comparée à [t] devant [r].

Tableau 1 : Durée de l'occlusion, VOT et durée totale de [t] et [t^s T] et la durée de l'occlusion de [r] prononcées par S1 et S2. Ainsi que la moyenne de l'OGM et du VOT de [t t^s] prononcés 6 fois par S3.

	Occ	VOT	TL	OGM	VOT
[t ^s]	66 8	45 4	111 8	1,05 0,22	61 6.4
[t]	74 9	27 4	102 8	0,62 0,12	22 2.8
/T/	88 8	22 3	110 8		
/r/	33 2				
	(S1 + S2)			(S3)	

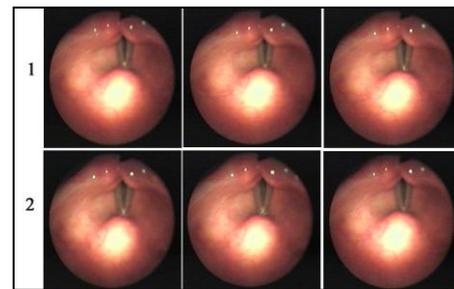


Figure 1 : Ouverture glottique maximale de [t] ligne (1) et [t^s] (2) prononcées trois fois dans [satrin] et [sat^srin] par S3.

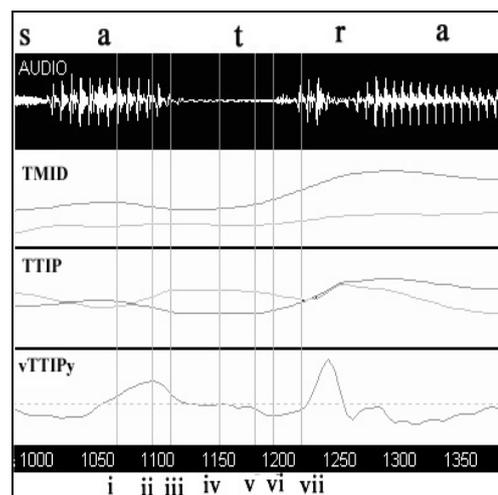


Figure 2 : Positions verticales et horizontales de TMID et TTIP, vitesses de TTIPy durant [satra] produit par S1. Les indices i, ii, iii, iv, v, vi, vii correspondent aux: (i) début de la phase de fermeture de TTIPy, (ii) sa vitesse maximale, (iii) fin de cette première phase, (iv) TTIPy maximale, (v) début de la phase d'ouverture, (vi) sa vitesse maximale et (vii) fin de cette phase.

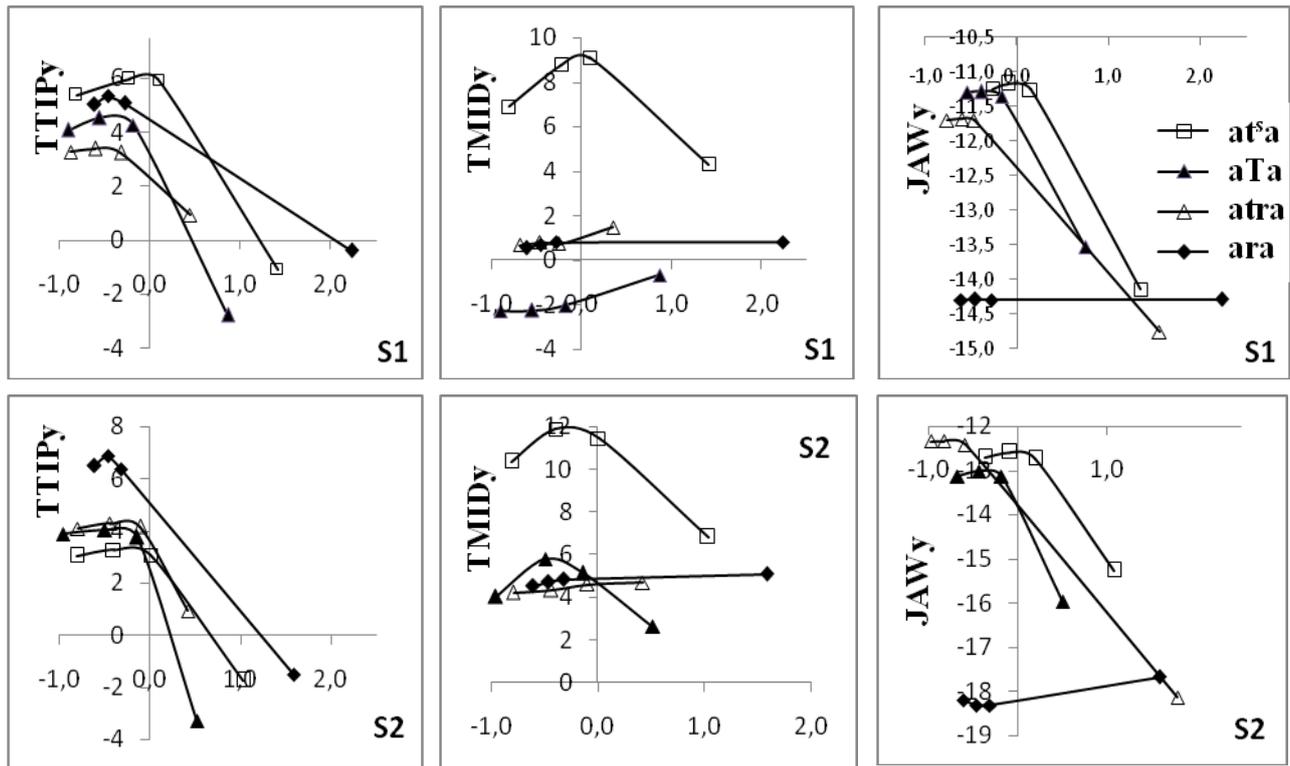


Figure 3 : Positions temporelles relatives (axe-x) et verticales absolues (axe-y, en mm) de JAWy et TTIPy durant [tʰ T r] dans aCa et [t] dans atra prononcées par S1 (ligne 1) et S2 (ligne 2). Sur les courbes de JAWy et TTIPy, les 4 marques correspondent de gauche à droite à : la fin de la phase de fermeture iii, position maximale iv, début de la phase d'ouverture v et fin de cette phase vii (voir aussi Fig. 2). Les mesures de TMIDy ont été faites de manière synchrone avec les positions iii, iv, v et vii de TTIPy.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] T. Bradley. *The Phonetics and Phonology of Rhotic Duration Contrast and Neutralization*. Ph.D. thesis. Pennsylvania State University, 2001.
- [2] S.N. Dart. Articulatory and acoustic properties of apical and laminal articulations. *UCLA Working Papers in Phonetics* 79, 1–155, 1991.
- [3] J. Heath. *Ablaut and Ambiguity: Phonology of a Moroccan Arabic Dialect*, Albany: State University of New York Press, 1987.
- [4] P. Hoole, A. Zierdt, & C. Geng. Beyond 2D in articulatory data acquisition and analysis, *Proc. ICPHS*, Barcelona, 265-268, 2003.
- [5] D. Kevin. Roon, A.I. Gafos, P. Hoole, and C. Zeroual. Influence of articulator and manner on stiffness. *Proc. Intl. Cong. of Phonetic Sciences*, 6-10 August, Saarbrücken, Allemagne, 409-412, 2007.
- [6] P. Ladefoged & I. Maddieson, *The Sounds of the World's Languages*. Blackwell, Cambridge USA & Oxford UK., 1996.
- [7] C. Mooshammer, P. Hoole and A. Geumann, Interarticulator cohesion within coronal consonant production. *J. Acoust. Soc. Amer.* 120, 1–13, 2006.
- [8] M.Sawashima. and H. Hirose. Laryngeal gestures in speech production. *Ann. Bull. RILP*, 1980.
- [9] L. Walsh. *The Phonology of Liquids*. Ph.D. Dissertation, University of Massachusetts, Amherst, 1997.
- [10] C. Zeroual, J.H. Esling, L. Crevier-Buchman. Physiological study of whispered speech in Moroccan Arabic. *Interspeech* Lisbon, 1069–1071, 2005.
- [11] C. Zeroual, S. Fuchs, & P. Hoole. Kinematic study of Moroccan Arabic simple and geminate obstruents: Evidence from transillumination, *Proc. Intl. Semr. on Speech Production*, Ubatuba – SP - Brazil, 287-294, 2006.
- [12] C. Zeroual, JH. Esling, L. Crevier-Buchman. Etude des adductions/abductions totales et partielles des cordes vocales. *XXVIèmes Journées d'Etudes sur la Parole*, 12-16 juin, Dinard, France, 549-55, 2006.
- [13] C. Zeroual, P. Hoole, S. Fuchs, and JH. Esling. EMA study of the coronal emphatic and non-emphatic plosive consonants of Moroccan Arabic. *Proc. Intl. Conf. of Phonetic Sciences*, Barcelona, 397-400, 2007.