

Etude des adductions/abductions totales et partielles des cordes vocales

Chakir Zeroual^{1&2}, John H. Esling⁴ et Lise Crevier-Buchman^{2&3}

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

2. Laboratoire de Phonétique et Phonologie (UMR 7018) CNRS / Sorbonne –Nouvelle, Paris, France

3. Hôpital Européen Georges Pompidou, 20 rue Leblanc, 75015 Paris, France.

4. Department of Linguistics, University of Victoria, Victoria, BC V8W 3P4 Canada

Chakirzeroual@yahoo.fr ; lise.buchman@numericable.fr ; esling@uvic.ca

ABSTRACT

In this study, we have shown that, in the intervocalic position, simple and geminate voiceless plosives [t tt], present a total abduction of the vocal folds (anterior+posterior parts). While their voiceless emphatic (or uvularized) counterparts [T TT] are produced with an anterior abduction only. Simple and geminate voiced plosives also show a slight anterior abduction which is longer during geminate, and shorter during [gg]. Arguments have been presented showing that the anterior abductions observed during [T TT] and voiced plosives are passive, due to the increase of the intraoral pressure. [i] falsetto shows a slight abduction of the vocal folds that we assign to the action of the intrinsic laryngeal muscles.

1. INTRODUCTION

Les descriptions physiologiques du larynx [1 10 13] montrent que l'adduction totale (parties antérieure+postérieure) des cordes vocales (CV) durant les voyelles et les consonnes voisées est toujours "active" et résulte de la contraction des muscles thyro-aryténoïdien latéral (TAL), interaryténoïdien (IA) et crico-aryténoïdien latéral (CAL). L'abduction totale des CV durant les consonnes sourdes est elle aussi active et résulte de l'action du cricoryténoïdien postérieur (CAP) et de l'absence d'activité du IA. Les analyses physiologiques montrent un autre type d'abduction des CV qui se fait sans la contraction du CAP [8]. Ce genre d'abduction, que nous appelons "abduction antérieure", concerne la partie antérieure de la glotte uniquement et est généralement observé durant la tenue des occlusives voisées [5 11].

L'abduction antérieure durant les occlusives voisées est généralement considérée comme passive et attribuée à l'augmentation de la pression intraorale (Po) [12]. Les modèles aérodynamiques montrent que des ajustements laryngaux et supralaryngaux s'ajoutent durant l'occlusion des occlusives "voisées" pour maintenir une différence d'au moins 2cmH₂O entre la pression sous-glottique (Ps) et Po [1]. Cette condition est nécessaire pour garder le voisement assez longtemps. Ces ajustements se manifestent sous forme (i) d'une augmentation du volume du conduit vocal grâce au relâchement de ses parois qui s'élargissent, au mouvement vers l'avant de la racine de la langue ou à l'abaissement du larynx [14]; (ii) ou d'un relâchement des CV [6] qui facilite leur vibration même avec un faible débit d'air trans-glottique. Sans ces

ajustements, Po augmente rapidement d'où non seulement la cessation du voisement, mais aussi l'application d'une force vers le bas sur les CV qui provoque l'abduction passive de leur partie antérieure.

Dans ce travail, nous décrivons, grâce à l'endoscopie, les postures de la glotte durant les occlusives voisées simples et surtout géminées de l'arabe marocain (AM). Nous montrons que les géminées présentent des adductions totales et des abductions antérieures qui ne s'accordent pas avec les prédictions des modèles aérodynamiques. Nous fournissons des données sur l'occlusive coronale emphatique [T] qui possède une abduction "antérieure" même si elle est sourde. Nous montrons également une légère abduction des CV durant le mode "falsetto".

Nous discutons, principalement, si les abductions particulières de la glotte que nous avons en AM sont actives (produites par la contraction d'un muscle intrinsèque du larynx) ou passives (résultant notamment de l'augmentation de Po). Pour cela, nous comparons nos résultats physiologiques et acoustiques avec les données d'autres langues rapportées par les auteurs.

2. MATERIEL ET METHODE

Des enregistrements vidéo ont été effectués grâce à une caméra (Olympus OTV-SF, 25images/seconde) reliée à un endoscope (Olympus Enf-P3) inséré à travers les fosses nasales d'un locuteur marocain (38 ans). Une partie de l'enregistrement (partie (i) du corpus) a été enregistrée en utilisant aussi la stroboscopie.

Ce locuteur a répété sept fois un corpus composé de 3 parties. (i) [i] tenue prononcée avec des qualités de voix différentes (modale, falsetto, chuchotée, etc), (ii) presque toutes les consonnes de l'AM prononcées dans des mots et non mots sous la forme simple ([-iCi]) et géminée ([-iCCi-]). Nous présentons ici les résultats des occlusives simples et géminées [b t d T D g] ([T D] : coronales emphatiques (uvularisées) correspondantes de [t d]), ainsi que ceux de la voyelle tenue [i] modale et falsetto .

Nous présentons aussi des observations effectuées durant un enregistrement séparé par transillumination, où le même locuteur a prononcé un corpus très similaire à celui de la présente expérience par endoscopie. Nous donnerons quelques commentaires sur les tracés obtenus par transillumination de [t tt T TT], l'analyse des autres consonnes sera présentée dans un travail séparé.

Les films vidéo ont été analysés par Adobe Premiere7, les images par Adobe Photoshop7, les données audio par Praat, les courbes de l'aperture glottique par Matlab et les analyses statistiques par StatView.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 La voix modale et falsetto (Figure 1)

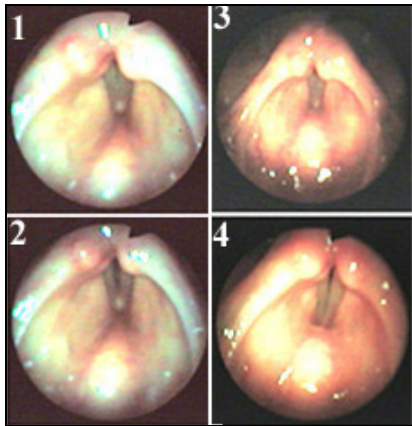


Figure 1 : Postures de la glotte durant : les phases fermées (1) et ouverte (2) de [i] tenue modale (image par stroboscopie), [i] modale (3) et falsetto (4) .

Nos observations à l'aide de la caméra 25images/seconde durant [i] tenue modale ($F_0=200\text{Hz}$), montrent que les CV restent fermées sur toute leur longueur. Grâce à la stroboscopie, nous avons pu identifier durant [i] modale une alternance entre des phases fermées et ouvertes de la glotte. Pendant la phase ouverte, aucun écartement au niveau des aryténoïdes n'a été enregistré. Durant [i] tenue produite avec le mode falsetto ($F_0=350\text{Hz}$), la glotte apparaît plus allongée, et les CV ne sont pas aussi rapprochées entre elles que durant la voix modale.

Les descriptions physiologiques [1 10 13] montrent que la voix "modale" s'accompagne des contractions modérées des muscles TAL et CAL qui attirent le cartilage aryténoïde vers l'avant et vers l'intérieur du larynx. D'où une compression antérieure-postérieure de la glotte et une fermeture de sa partie antérieure. La contraction modérée du muscle IA permet la fermeture de la partie postérieure de la glotte ; celle du muscle cricothyroïdien (CT) empêche un raccourcissement important des CV et une augmentation excessive de leur masse et ajuste leur tension. Selon la théorie myoélastique [13], la vibration des CV est un processus passif conséquence de la combinaison des forces actives exercées par les muscles adducteurs et par la pression sous-glottique. Le fait que durant la phase ouverte du [i] modale les aryténoïdes sont collés s'accorde avec les descriptions de cette théorie.

Selon Hirano [cité dans 11], chaque CV est constituée de plusieurs couches souvent réduites à deux : la couche externe ou la muqueuse et la couche interne ou le corps (cover et body). Durant la voix modale, VOC (muscle vocal) se contracte et exerce une force antagoniste au CT, la tension du corps augmente et celle de la muqueuse

baisse. Par contre, durant falsetto, la contraction du CT est plus marquée, alors que le VOC reste inactif, d'où un allongement excessif des CV, une réduction de leur épaisseur et une augmentation de la tension aussi bien du corps que de la muqueuse. Le résultat est une augmentation excessive de F_0 qui caractérise le mode falsetto. Les données rapportées par les auteurs ainsi que les nôtres, montrent que falsetto est souvent accompagnée d'une petite ouverture de la glotte. Cette dernière est attribuée à l'activité très marquée du CT [11], ainsi que probablement à l'absence de contraction du VOC qui garde les CV relativement éloignées.

3.2 Les occlusives sonores (Figure 2)

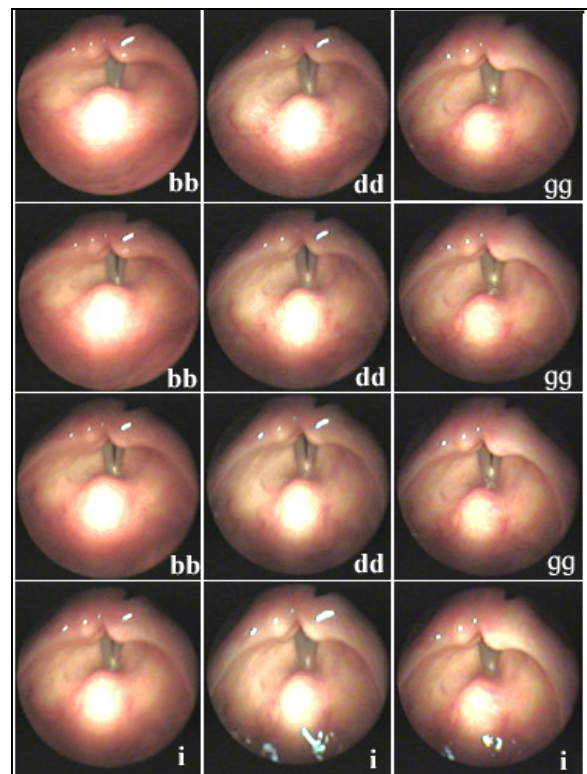


Figure 2 : Postures de la glotte durant [-bbi-], ([-iddi-]) et [-ggi-] produites dans des mots de l'AM.

[b d D g] ont une adduction des CV pendant toute la durée de l'occlusion. Durant certaines de leurs occurrences, une légère abduction antérieure est observée une image avant la voyelle. Durant [gg] la glotte peut rester fermée durant toute l'occlusion ou s'ouvrir une image seulement avant la voyelle. Par contre, durant [bb dd DD], les CV sont entièrement adduquées durant leur première moitié, une abduction antérieure est observée généralement pendant deux images avant la voyelle suivante (Fig. 2).

Le voisement peut se maintenir durant toute la durée de l'occlusion de [b d D g] ou cesser immédiatement avant le relâchement. Durant les géminées, le voisement se maintient rarement au delà de la première moitié de l'occlusion durant [bb dd DD], et occupe pratiquement toute la durée de l'occlusion durant [gg] (Tab. 1). La

durée du voisement et du silence (tableau 1) sont respectivement les plus longues et les plus brèves durant [gg], et les plus brèves et les plus longues durant [bb]. Notons que la durée de l'occlusion durant les simples est très inférieure comparée aux géminées. L'occlusion de [bb dd DD], apparaît plus longue que celle de [gg].

Des expériences par EMG [7], montrent que, comparée aux voyelles adjacentes, l'occlusive voisée développe à l'intervocalique une baisse assez importante de l'activité de INT et VOC et légère de LCA, alors que CT semble garder le même niveau de contraction. Rappelons que la contraction très importante du CT combinée à l'absence d'activité du VOC, comme durant falsetto, peut induire l'abduction antérieure des CV. Cette dernière, généralement observée avant le relâchement des occlusives voisées, ne peut être due aux actions inverses du CT et VOC, puisque l'activité du CT doit rester faible.

L'abduction antérieure ainsi que le silence durent plus longtemps durant [bb dd DD] que durant [b d D], probablement parce que Po atteint une amplitude importante longtemps avant le relâchement des premières. Le fait que l'abduction et le voisement sont plus longs durant [gg] comparé à [DD] et surtout à [bb DD] suggèrent aussi que Po atteint une valeur proche de Ps beaucoup plus tôt durant [DD] et surtout [dd bb]. Cette déduction ne s'accorde pas avec les descriptions aérodynamiques proposées aux consonnes occlusives qui prédisent une augmentation plus rapide de Po et un voisement plus court durant [gg] et l'inverse durant [bb]. Des résultats inattendus ont été relevés aussi par Cohn et al. [2] dans des langues austronésiennes où le voisement occupe toute la durée de la phase d'occlusion de toutes les occlusives voisées géminées.

Des ajustements articulatoires supplémentaires semblent se développer de manière plus importante durant l'occlusion de [gg], ce qui permet d'avoir un voisement qui peut durer jusqu'à 140 msec. Des hypothèses perceptives peuvent aussi expliquer les différences par rapport à la durée du voisement entre [bb dd DD gg]. L'AM possède [b bb] mais pas [p pp], les propriétés acoustiques de [b bb] peuvent donc être assez variables sans que cela n'affecte leurs catégories phonologiques. Par contre, une durée plus brève du voisement durant [gg] facilite l'augmentation de Po, d'où un burst qui serait plus long et surtout plus intense, donc moins distinct de celui de [kk].

Nos données combinées avec les observations antérieures par EMG plaident en faveur de l'hypothèse qui considère l'abduction antérieure durant les occlusives voisées simples et géminées comme étant passive.

3.3 Les occlusives sourdes [t] et [T] (Figure 3)

Durant [t tt], les aryténoïdes s'écartent progressivement, puis se rapprochent de nouveau tout aussi progressivement (Fig. 3). Durant [T TT], les aryténoïdes

restent collés, alors que la partie antérieure de la glotte s'ouvre très légèrement dès le début de l'occlusion pour garder cette posture jusqu'au début de la voyelle suivante. Notons que la durée du VOT est très importante durant [t tt] (65msec) et très faible durant [T TT] (21msec).

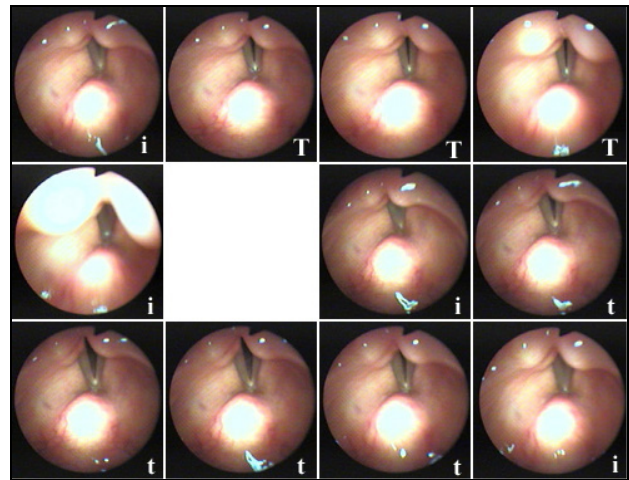


Figure 3: Postures de la glotte durant une partie des items [iTib] et [itih].

Les tracées par transillumination (figure 4) montrent que seules [t tt] possèdent des phases d'abduction et d'adduction qui sont bien représentées. La courbe de l'aperture glottique reste presque plate durant [T TT].

L'abduction totale des CV durant les consonnes sourdes à l'intervocalique est généralement obtenue grâce à la contraction du CAP et la non activation du IA. Hirose et al [7] ont montré que la contraction du CAL durant l'occlusive sourde à l'intervocalique est plus faible que durant la voyelle, mais pratiquement identique à sa correspondante voisée. Dixit [4] montre une contraction plus marquée du CT durant l'occlusive sourde que durant la voisée, mais ce résultat n'a pas été toujours obtenu par d'autres travaux. Il semble que LCA est actif pendant la sourde pour éviter une ouverture excessive de la glotte. Plus généralement, la contraction du CAL permet surtout d'établir la glotte dans le mode de "parole" ou "préphonatoire" [11], alors que les autres muscles du larynx contribuent aux différences segmentales (CAP, IA) ou suprasegmentale (CT, VOC) par rapport aux modes phonatoires ou au registre de la voix.

[T] partage avec l'occlusive sourde non aspirée [t*] du coréen dite fortis la durée très faible du VOT et probablement d'autres propriétés physiologiques. Selon Kagaya [9], durant [t*] à l'intervocalique, la partie postérieure de la glotte reste adduquée, une abduction antérieure est observée durant le début de l'occlusion suivie d'une adduction totale des CV qui s'établit avant le relâchement. Des études par EMG [8] ont montré qu'à l'intervocalique, CAP est inactif durant toute la durée de [C*], alors que VOC se relâche durant le début de l'occlusion et se contracte fortement avant le relâchement. Les modélisations aérodynamiques de Dart [3] suggèrent que [t*] est produite avec une tension plus importante des parois du conduit vocal. Cette dernière combinée à

l'absence d'activité du VOC durant le début de l'occlusion, comme c'est le cas durant [C*] et probablement durant [T], faciliterait l'abduction passive de la glotte induite par l'augmentation rapide de Po. Une activation anticipée du VOC combinée à l'absence de contraction du CAP accélèrent l'adduction totale des CV, d'où la durée très brève du VOT de [t*] et [T].

Tableau 1 : Durées et écartypes en msec (1 locuteur x 7 répétitions) du voisement, silence (absence de voisement) et de l'occlusion durant [bb dd DD gg], de l'occlusion et du VOT de [tt TT] produites dans le contexte [iCCi].

	Voisement	Silence	Occlusion	VOT (+)
[bb]	70 (18)	93 (19)	163 (10)	
[tt]			142 (10)	63 (3)
[dd]	83 (16)	77 (9)	160 (9)	
[TT]			175 (13)	15 (2)
[DD]	107 (17)	61 (21)	169 (8)	
[gg]	138 (13)	9 (13)	145 (4)	

4. CONCLUSION

Cette étude montre qu'en position intervocalique, l'occlusive sourde [t], simple et géminée, présente une abduction totale des cordes vocales (parties antérieure+postérieure). Par contre, ses correspondantes sourdes emphatiques [T TT] présentent une abduction de la partie antérieure de la glotte uniquement. Les occlusives voisées, simples et géminées, développent elles aussi une légère abduction antérieure qui dure plus longtemps durant les géminées, elle est aussi plus courte durant [gg]. Des arguments ont été présentés qui montrent que l'adduction antérieure observées durant [T TT] et les occlusives voisées est passive, due à l'augmentation de la pression intraorale. [i] falsetto développe elle aussi une légère abduction des cordes vocales que nous attribuons à l'action des muscles intrinsèques du larynx.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J.C. Catford. *Fundamental Problems in Phonetics*. Edinburgh University Press, Edinburgh, 1977.
- [2] A.C. Cohn, W.H. Ham, R.J. Podesva. The phonetic realization of singleton-geminate contrasts in three languages of Indonesia. *Proceedings of the XIVth ICPHS*, San Francisco: 587-590, 1999.
- [3] S.N Dart. An aerodynamic study of Korean stop consonants: Measurements and modeling. *J. Acoust. Soc. Amer.*, 81(1): 138-147, 1987.
- [4] R.P. Dixit. *Neuromuscular aspects of laryngeal control: with special reference to Hindi*. Ph. D. dissertation. University of Texas Austin, 1975.
- [5] R.P. Dixit. Glottal gestures in Hindi plosives. *Journal of Phonetics* 17: 213-237, 1989.
- [6] M. Halle and K. N. Stevens. A note on laryngeal

features. *QPR Quarterly Progress Report, Research Laboratory of Electronics*, MIT 101: 198-213, 1971.

- [7] H. Hirose and T. Ushijima (1978) Laryngeal control for voicing distinction in Japanese consonant production. *Phonetica* 35: 1-10, 1978.
- [8] K. Hong, S. Niimi and H. Hirose. Laryngeal Adjustments for the Korean Stops, Affricates and Fricatives - An Electromyographic Study. *Ann. Bull. RILP*. 25: 17-31, 1991.
- [9] R. Kagaya. Laryngeal gesture in Korean stop consonants. *Ann. Bull. RILP* 5: 15-23, 1971.
- [10] J. Laver. *The Phonetic Description of Voice Quality*. Cambridge University Press, 1980.
- [11] M. Sawashima, and H. Hirose. Laryngeal gestures in speech production. *Ann. Bull. RILP*. 14: 29-51, 1980.
- [12] K.N. Stevens. Vocal-fold vibration for obstruent consonants. In J. Gauffin and B. Hammarberg (eds.) *Vocal fold physiology. Acoustic, perceptual, and physiological aspects of voice mechanisms*. Singular Publishing Group, San Diego: 29-36, 1991.
- [13] J.W. Van Den Berg. Mechanism of the larynx and the laryngeal vibrations. in B. Malmberg, (ed.) *Manual of Phonetics*. Amsterdam, North-Holland: 278-307, 1968.
- [14] J. R. Westbury. Enlargement of the supraglottal cavity and its relation to stop consonant voicing. *J. Acoust. Soc. Am.* 73: 1322-1336, 1983.

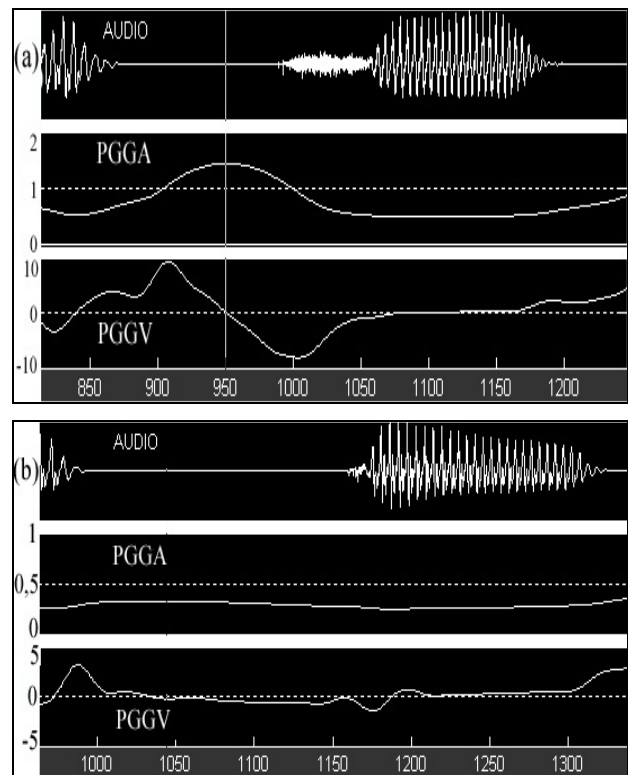


Figure 4 : Tracés de la courbe de l'aperture glottique (PGGA) obtenue par transillumination, ainsi que la courbe de la vitesse (PGGV) calculée sur la première durant les séquences [-itti-] (a) et [-iTTi-] (b) extraites des items *[bittit] et [bTTit]. Notons que l'axe des 'y' de PGGV de (a) et (b) n'a pas la même échelle.