

LES AJUSTEMENTS LARYNGAUX EN FRANCAIS

Rachid Ridouane¹, Nicolas Audibert^{1,2}, Van minh Nguyen¹

(1) LPP (UMR 7018, CNRS-Sorbonne-Nouvelle)

(2) LIMSI, UPR3251, 91403 Orsay Cedex

rachid.ridouane@univ-paris3.fr, nicolas.audibert@gmail.com, nguyeny94800@gmail.com

RESUME

Les ajustements laryngaux en français sont examinés à partir de données acquises par photoglottographie externe (ePGG) non invasive sur deux locuteurs. L'objectif est de déterminer comment l'amplitude d'ouverture glottale et le timing entre les gestes glottaux et supraglottaux varient selon la nature des obstruantes sourdes. Il s'agit plus spécifiquement de montrer comment le mode et le lieu d'articulation des obstruantes affectent le geste d'abduction-adduction des plis vocaux et comment deux gestes successifs d'ouverture-fermeture glottale sont organisés au sein d'une séquence de deux obstruantes. Les résultats obtenus sont explorés dans une perspective typologique.

ABSTRACT

Laryngeal adjustments in French

Laryngeal adjustments in French are examined based on non-invasive external photoglottographic (ePGG) data from two subjects. The aim is to determine how glottal opening amplitude and the timing between laryngeal and supralaryngeal gestures vary depending on the phonetic make-up of the voiceless obstruents. Specifically, we want to show how place and manner of articulation of the obstruents affect the abduction-adduction gesture and how a combination of two successive laryngeal opening-closing gestures is organized within a consonantal cluster. The results obtained are discussed from a typological perspective.

MOTS-CLES : Ajustements laryngaux, français, obstruantes sourdes, séquences sourdes.

KEYWORDS : Laryngeal adjustments, French, voiceless obstruents, voiceless clusters.

1 Introduction

Ce travail traite des ajustements laryngaux en français en examinant comment l'amplitude et le timing du geste d'abduction-adduction des plis vocaux varient selon la nature des obstruantes et des séquences d'obstruantes sourdes. Les caractéristiques laryngales des consonnes sourdes ont été examinées dans plusieurs langues, mais très peu d'études ont été consacrées au français (Fischer-Jørgensen 1972, Benguerrel al. 1978). Notre travail, qui vise donc à combler cette lacune, est organisé autour d'une série de comparaisons liées notamment au mode d'articulation et au lieu d'articulation des obstruantes, et au phénomène de coarticulation laryngale pendant la production des séquences de deux obstruantes sourdes. Les résultats obtenus sont examinés à la lumière de nos connaissances sur les mécanismes du contrôle laryngé observés dans différentes langues du monde, notamment dans les langues germaniques, le japonais, le berbère et l'arabe marocain. L'objectif est de déterminer si certaines caractéristiques laryngales sont communes à toutes ces langues et peuvent être considérées comme universelles.

1.1 Méthode

La photoglottographie externe (ePGG) est une méthode non-invasive permettant d'observer les ajustements de la glotte pendant la parole. Ce dispositif, fabriqué et breveté par le Laboratoire de Phonétique et Phonologie (CNRS/Sorbonne-Nouvelle), consiste en une source de lumière infrarouge puissante (LED) appliquée autour du cou et un capteur qui enregistre la quantité de photons qui passe à travers la glotte ; plus la glotte est ouverte, plus l'intensité de cette lumière est importante, et inversement. Deux locuteurs natifs (M1 et M2) ont participé à l'expérience, chacun produisant de 4 à 5 fois les formes présentées dans la table 1. Les segments analysés, tous en position intervocalique, varient selon (i) le mode d'articulation (occlusive vs. fricative), (ii) le lieu d'articulation (/p/ vs. /t/ vs. /k/ pour les occlusives ; /f/ vs. /s/ vs. /ʃ/ pour les fricatives) (iii) la gémination hétéromorphémique (ex. /k/ vs. /k#k/), et (iv) la disposition des obstruantes au sein de la séquence C₁C₂ (ex. /sk/ vs. /s#k/ vs. /k#s/). Chaque forme a été incluse dans une phrase cadre : « prononce ceci ... six fois ».

Type	Segment	Item
Occlusive	p	réparer
	t	s'étaler
	k	mécano
Fricative	f	céphalée
	s	messager
	ʃ	réchapper
Occlusive # Occlusive	p#p	une guêpe parlante
	t#t	une fête tardive
	k#k	un mec cabossé
Fricative # Fricative	f#f	une nef fabuleuse
	s#s	une messe savoureuse
	ʃ#ʃ	une mère chatoyante
Fricative - Occlusive	st	estimer
	sk	esquiver
Fricative # Occlusive	s#k	un fils kinésiste
	s#t	un fils timoré
Occlusive # Fricative	t#s	un mythe sidérant
	k#s	une tique sidérante

TABLE 1 – Liste des items utilisés

Les données ePGG, enregistrées à l'aide d'une carte d'acquisition DT9803, ont été converties en .wav puis traitées par un filtrage passe-bas à 300Hz. Elles ont par la suite été segmentées manuellement à l'aide de Praat, avec visualisation simultanée du signal acoustique et du spectrogramme. Les valeurs d'ouverture glottique et du timing entre les gestes glottaux et supraglottaux ont été extraites automatiquement à partir de cette segmentation. L'ouverture maximale de la glotte (OMG) sur la tenue des segments cibles (ex. /k/) est exprimée comme le pourcentage de l'OMG mesurée sur la séquence /s#s/ de la phrase cadre « prononce ceci », supposée présenter une ouverture glottique importante et peu variable. Afin de tenir compte des fluctuations de l'amplitude absolue de l'ouverture glottale, dues notamment aux mouvements verticaux du larynx, les ouvertures maximales du segment cible et de la séquence /s#s/ de référence sont mesurées relativement à l'amplitude mesurée de la voyelle qui les précède, réalisée avec la glotte fermée. Les autres variables examinées incluent les intervalles temporels entre l'OMG et l'onset et l'offset de l'obstruante ainsi que le rapport entre l'OMG et la durée totale des obstruantes. Ces variables seront détaillées plus bas.

2 Propriétés des obstruantes simples

Cette section examine comment les ajustements glottaux varient selon le mode d'articulation et le lieu d'articulation des obstruantes sourdes simples.

2.1 Mode d'articulation

Il a été largement observé que l'amplitude de l'ouverture glottale est plus importante pour les fricatives que pour les occlusives (voir Ridouane 2003 et Hoole 2006 pour une revue). Selon Yoshioka et al. (1980 : 306) : « ... *the difference in the peak value between a voiceless fricative and a voiceless stop is universal.* » Mais s'agit-il réellement d'un aspect universel ? Hutters (1985), par exemple, a rapporté pour le danois des ouvertures maximales de la glotte légèrement mais significativement plus larges pour les occlusives comparées aux fricatives. En coréen, Kagaya (1974) a observé que les fricatives non tendues ont un degré d'ouverture glottale semblable à celui des occlusives aspirées et, plus récemment, Kim (2010) a montré à partir de données IRM que l'ouverture glottale des fricatives est moins importante que celle des occlusives aspirées. Aussi, sur les trois locuteurs allemands analysés par Hoole (2006), seul un locuteur a produit un pic d'ouverture glottale plus large pour les fricatives. Ces divergences s'expliquent probablement par le degré particulièrement important de la phase d'aspiration dans ces trois langues. Cela peut être observé dans l'étude de Lisker et Abramson (1974) qui a rapporté que le VOT des aspirées en coréen (104 ms en moyenne) est beaucoup plus long qu'en anglais (78 ms en moyenne). Les occlusives aspirées analysées en allemand sont en position initiale du mot, en syllabe accentuée, là où précisément l'aspiration est la plus forte (voir aussi Hutters (1985 : 17) qui rapporte des durées importantes pour les aspirées en danois).

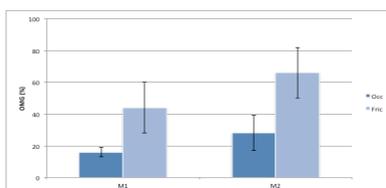


FIGURE 1 – Différences d'OMG entre occlusives et fricatives sourdes pour les deux locuteurs.

Les occlusives sourdes du français ne sont pas aspirées. On s'attendrait dès lors à ce que l'amplitude glottale pour les fricatives soit plus large pour satisfaire les contraintes aérodynamiques nécessaires pour la production de ces consonnes. Comme le montre la figure 1, les fricatives sourdes sont effectivement produites avec une OMG plus large comparée aux occlusives, et ce pour les deux locuteurs.

Des travaux antérieurs ont également montré que le rapport temporel entre les gestes glottaux et supraglottaux varie selon le mode d'articulation des obstruantes. En anglais, Löfqvist et Yoshioka (1984) ont observé que l'amplitude maximale de l'ouverture glottale a lieu plus près de l'implosion pour les fricatives. Ainsi, l'intervalle entre l'onset acoustique de l'obstruante et l'ouverture maximale de la glotte est plus long pour les occlusives (voir aussi Hutters 1985). Nous avons mesuré cet intervalle et nos résultats, illustrés par la figure 2, indiquent que l'OMG est atteinte en moyenne plus rapidement pour les fricatives (33 ms, DS : 7 ms) comparées aux occlusives (42 ms, DS : 9 ms).

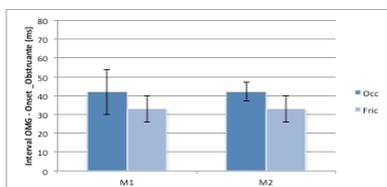


FIGURE 2 – Intervalle temporel entre l’OMG et l’onset de l’obstruante.

Cette rapidité de l’abduction glottale explique pourquoi au début d’une fricative post-vocalique les plis vocaux continuent encore de vibrer alors que la glotte présente une ouverture plus importante comparée à une occlusive (Yoshioka et al. 1981, Hoole 2006). La glotte, s’ouvrant plus rapidement, atteint une amplitude importante avant que la différence de pression transglottique diminue à un niveau propice à la cessation des vibrations des plis vocaux. Selon Yoshioka et al. (1981 : 1621) : « [...] a fast separation of the vocal folds is preferable for the turbulent noise source during fricative segments; for stop production, however, such a rapid increase in glottal area seems unnecessary during initial stop closure to terminate vocal fold vibration. » Cette vélocité du geste d’ouverture glottale peut expliquer un autre aspect commun à beaucoup de langues : pendant la production d’une séquence d’obstruantes sourdes qui contient une fricative, la glotte atteint généralement son niveau d’ouverture maximale pendant la tenue de cette fricative. Nous reviendrons sur ce point plus bas.

2.2 Lieu d’articulation

La revue de littérature (ex. Hoole 2006) montre que le changement de lieu d’articulation des fricatives entre labial, dental et alvéopalatal n’affecte pas significativement la nature des ajustements glottaux¹. Nos données du français confirment cette absence d’effet, que ce soit sur l’amplitude glottale que sur le timing de cette ouverture. Le reste de cette section sera donc limité au cas des occlusives. Le VOT des occlusives varie en fonction du lieu d’articulation : il augmente à mesure que l’on recule dans la cavité buccale (Cho et Ladefoged, 1999). C’est le cas aussi en français, où le VOT de la vélaire est plus long que celui des autres occlusives (Serniclaes 1987). Plusieurs explications ont été fournies pour rendre compte de cet aspect (Stevens 1999). Outre des facteurs aérodynamiques liés à la taille de la cavité orale, plus réduite pour les vélaire, aux mouvements des articulateurs, et au degré du contact supralaryngal, le VOT varie aussi en fonction de la nature du mécanisme laryngal. Sawashima et Niimi (1974), à partir des données du japonais, ont ainsi montré que l’amplitude glottale pour /k/ est plus importante que pour /t/ et /p/. La même tendance a été observée par Hutters (1985) pour le danois, Cooper (1991) pour l’anglais, Hoole (2006) pour l’allemand et Ridouane (2003) pour le berbère. En français, l’analyse des données acoustiques montre que pour les deux locuteurs, le VOT de /k/ est plus long (28 ms, DS : 3.2) que celui de la dentale /t/ (17 ms, DS : 3.5) et de la labiale /p/ (12 ms, DS : 1.7). Au niveau glottal, nos résultats montrent là aussi que l’OMG pour /k/ est plus large que pour /p/ et /t/ (voir figure 3).

¹ Il est à noter que dans les langues qui ont des fricatives dorsales des variations d’amplitude glottale importantes ont été observées ; les uvulaires par exemple étant produites avec une amplitude plus large que les coronales ou labiales. C’est le cas notamment en arabe marocain (Zeroual 2000) et en berbère (Ridouane 2003).

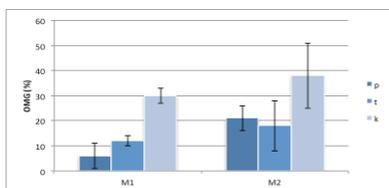


FIGURE 3 – Différences d'OMG selon le lieu d'articulation des occlusives pour les deux sujets.

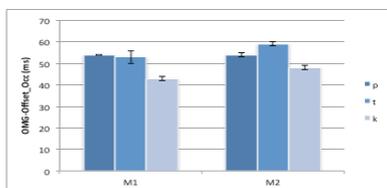


FIGURE 4 – Intervalle temporel entre l'OMG et l'offset de l'occlusive selon le lieu d'articulation des occlusives.

La nature de l'ajustement interarticulaire a aussi une influence majeure sur la durée du VOT, en ce sens que l'ouverture maximale de la glotte a lieu plus tôt pour /p/ que pour /k/. Pour mesurer ce paramètre nous avons calculé l'intervalle entre l'OMG et l'offset acoustique de l'occlusive. Les résultats, présentés dans la figure 4, indiquent que l'OMG a lieu plus près de l'offset pour /k/ comparé à /p/ et /t/, et ce pour les deux locuteurs. De telles différences n'ont pas été observées entre /p/ d'un côté et /t/ de l'autre.

3 Propriétés des séquences sourdes

La coarticulation laryngale pendant la production des séquences d'obstruantes sourdes a fait l'objet de plusieurs études, plus particulièrement sur les langues germaniques (Pétursson 1977, Hoole 2006, Löfqvist et Yoshioka 1980, Munhall et Löfqvist 1992), le japonais (Fukui et Hirose 1983, Yoshioka et al. 1980), le berbère (Ridouane 2003, Ridouane et al. 2006) et l'arabe marocain (Yeou et al. 2008). L'objectif de ces travaux a été de déterminer comment les gestes successifs d'ouverture-fermeture glottale sont organisés selon la nature et la disposition des obstruantes au sein d'une séquence consonantique. Les résultats obtenus montrent qu'une suite de deux obstruantes sourdes peut être produite avec un ou deux gestes séparés d'ouverture-fermeture glottale. La séquence monomorphémique fricative – occlusive requiert généralement un seul geste glottal, avec le pic d'ouverture atteint pendant la fricative. De même, une suite de deux obstruantes identiques est produite avec un seul geste glottal, le pic de cette ouverture varie selon la nature aspirée ou non aspirée de l'occlusive. Par ailleurs, une suite fricative#occlusive séparée par une frontière de mot (par exemple /s#t/ dans les langues germaniques) requiert souvent deux gestes séparés d'ouverture-fermeture glottale. Le pic de ces ouvertures est atteint pendant la tenue de la fricative et au moment du relâchement de l'occlusive. Une question soulevée par ces résultats a été de savoir si l'aspect monomodal ou bimodal du mouvement glottal est une conséquence de la frontière de mot ou s'il s'agissait plutôt d'une conséquence de l'aspiration qui caractérise l'occlusive dans certaines positions. Pour Löfqvist et Yoshioka (1980), ces ajustements ne sont pas liés à la frontière de mot mais plutôt à la nature des consonnes contenues dans la séquence, en ce sens que chaque obstruante sourde produite avec aspiration ou bruit de friction a tendance à requérir une ouverture glottale maximale séparée. Nous examinons ici la coarticulation laryngale pendant la tenue des gémées hétéromorphémiques ($C_1\#C_2$) et des suites C_1C_2 où C_1 ou C_2 est soit une occlusive soit une fricative, séparée ou pas par une frontière de mot.

3.1 Les géménées hétéromorphémiques C_i#C_i

A l'instar des obstruantes simples, les géménées hétéromorphémiques en français sont toujours produites avec un seul geste d'ouverture-fermeture glottale. Aussi, aucune différence notable n'a été relevée concernant le moment où ce geste glottal atteint son ouverture maximale (36% et 35% relatif à la durée totale des occlusives simples et géminée, respectivement ; et 41% et 42% pour les fricatives simples et géménées, respectivement). Des différences notables ont par ailleurs été observées concernant l'OMG. Les géménées, qu'elles soient fricatives (91%, DS : 21) ou occlusives (44%, DS : 13), ont un degré d'amplitude glottale plus large, comparées aux simples (54%, DS : 16 pour les fricatives, et 21%, DS : 7 pour les occlusives). Ce résultat, qui rejoint les observations de Benguerrel et al. (1978), soulève la question du facteur responsable de ces différences. Une réponse possible est que le degré de l'amplitude glottale est une fonction de la durée de cette ouverture : plus la durée entre l'initiation du geste d'abduction et la fin du geste d'adduction est longue, plus l'amplitude maximale atteinte sera grande. Nous avons analysé la corrélation entre la durée et l'amplitude du geste glottale. Les résultats, illustrés par la figure 5 pour les occlusives, montrent que cette corrélation est plus importante pour les fricatives ($r = .7$) que pour les occlusives ($r = .6$).

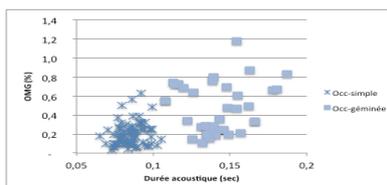


FIGURE 5 – Rapport entre l'OMG et la durée des occlusives simples et géménées.

3.2 Les séquences C₁(#)C₂

Contrairement aux langues où l'aspiration est distinctive, en français les séquences de deux obstruantes sourdes sont systématiquement produites avec un seul geste d'abduction-adduction glottale. Aussi, la présence ou l'absence d'une frontière de mot dans la séquence fricative-occlusive n'a aucun effet sur l'amplitude de cette ouverture (fricative-occlusive = 91%, DS : 21 ; fricative # occlusive 89%, DS : 17). Par ailleurs, nos données montrent que l'ouverture maximale de la glotte est quasi systématiquement atteinte pendant la tenue de la fricative. Ceci est en accord avec les résultats de Löfqvist et Yoshioka (1980) pour le suédois, Ridouane et al. (2006) pour le berbère ou Yeou et al. (2008) pour l'arabe marocain (voir aussi Hoole (2006) qui rapporte le même résultat pour d'autres langues). Deux stratégies sous-jacentes peuvent expliquer cette asymétrie : (i) elle peut être due à des considérations aérodynamiques, la fricative nécessitant un flux d'air intraoral plus important que l'occlusive, (ii) elle est causée par deux gestes d'ouverture glottale sous-jacents qui se chevauchent : une ouverture large pour la fricative et une plus petite pour l'occlusive (Munhall et Löfqvist 1992). Browman et Goldstein (1986) attribuent le pattern monomodal de l'ouverture glottale pour les séquences fricative-occlusive à la régularité phonologique qui caractérise la position attaque de syllabe. Ils posent la règle suivante pour rendre compte de ce pattern : « *if a fricative gesture is present, coordinate the PGO [OMG] with the mid-point of the*

fricative... » (ibid : 446). Les données du français contredisent cette règle : quelle que soit la structure syllabique et morphologique de la séquence, l'OMG est localisée pendant la fricative, mais ce pic n'est pas nécessairement localisé au milieu de cette fricative. En effet, comme pour l'allemand et le berbère, l'OMG tend à se décaler vers la première moitié de la fricative quand elle suit une occlusive (11% de la fricative) et vers la fin de la fricative quand elle est suivie d'une occlusive (73% de la fricative). La figure 6 illustre ces différences de timing pour les suites Fricative # Occlusive et Occlusive # Fricative.

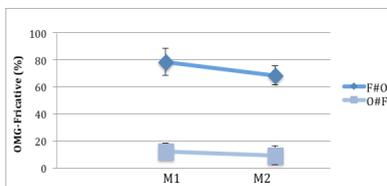


FIGURE 6 – Localisation du pic d'ouverture glottale en % relatif à la durée de la fricative pour les suites Fricative # Occlusive et Occlusive # Fricative pour M1 et M2.

4 Conclusion

Cette étude a permis de dégager certaines caractéristiques laryngales que le français partage avec d'autres langues non apparentées. A l'instar des langues germaniques, du japonais ou du berbère, les ajustements glottaux en français varient selon le mode d'articulation des obstruantes simples. Cet effet est visible aussi bien sur le degré d'amplitude glottale que sur le timing de cette ouverture. Ainsi, les fricatives sourdes sont produites avec une OMG plus large atteinte plus rapidement comparées aux occlusives. Ces résultats reflètent un aspect (quasi) universel lié à des contraintes aérodynamiques. L'OMG et son timing diffèrent aussi selon le lieu d'articulation des occlusives. La vélaire /k/, produite avec un VOT plus long, présente un degré d'ouverture glottale plus important et un retard dans le timing de cette ouverture par rapport à l'offset de l'occlusive. De telles différences n'ont pas été observées entre /p/ et /t/. Concernant les séquences consonantiques, la présence d'une frontière de mot n'a pas d'effet ni sur l'amplitude et le nombre d'ouvertures glottales ni sur le timing entre les gestes glottaux et supraglottaux. La gémination hétéromorphémique affecte par contre l'amplitude glottale, en ce sens que plus la durée de l'obstruante est longue plus l'amplitude de l'ouverture glottale est large. Un dernier résultat qui reflète une autre tendance universelle est que dans une séquence d'obstruantes C1C2 (où C1 ≠ C2 en terme de mode d'articulation), le pic d'ouverture glottale est toujours atteint durant la fricative, que cette fricative suive ou précède l'occlusive. Cette différence de localisation de l'OMG est probablement liée à la différence de vitesse d'ouverture glottale entre les deux obstruantes.

Références

- BENQUERREL, A.P., HIROSE, H., SAWASHIMA, M. AND USHIJIMA, T. (1978). Laryngeal control in French stop production: a fiberoptic, acoustic and electromyographic study. *Folia phoniatrica* 30, pages 175-198.
- BROWMAN, C. P., ET GOLDSTEIN, L. (1986). Towards an articulatory phonology. *Phonology Yearbook* 3, pages 219-252.

- CHO, T. AND LADEFOGED, P. (1999). Variations and universals in VOT: evidence from 18 languages. *Journal of Phonetics* 27, pages 207-229.
- COOPER, A.M. (1991). Laryngeal and oral gestures in English /p, t, k/. *Proceedings of the 12th ICPHS*, pages 50-53.
- FISCHER-JORGENSEN, E. (1972). PTK et BDG français en position intervocalique accentuée. In *Papers in Linguistics and Phonetics to the Memory of Pierre Delattre*, P.Valdman (ed.), Mouton, Den Haag, pages 143-200.
- FUKUI, N. ET HIROSE, H. (1983). Laryngeal adjustments in Danish voiceless obstruent production. *Annual Report of the Institute of Phonetics, University of Copenhagen* 17, pages 61-71.
- HOOLE, P. (2006). *Experimental studies of laryngeal articulation*. Habilitation Thesis, Ludwig-Maximilians-Universität.
- HUTTERS, B. (1985). Vocal fold adjustments in aspirated and unaspirated stops in Danish. *Phonetica* 42, pages 1-24.
- KAGAYA, R. (1974). A fiberoptic and acoustic study of Korean stops, affricates and fricatives. *Journal of Phonetics* 2, pages 161-180.
- KIM, H., MAEDA, S. AND HONDA, K. (2011). The laryngeal characterization of Korean fricatives: Stroboscopic cine-MRI data. *Journal of Phonetics* 39, pages 626-641.
- LISKER, L. ET ABRAMSON, A.S. (1964). A cross-language study of voicing in initial stops: acoustic measurements. *Word* 20, pages 384-422.
- LÖFQVIST, A. ET YOSHIOKA, H. (1980). Laryngeal activity in Swedish obstruent clusters. *JASA* 68(3), pages 792-799.
- LÖFQVIST, A. ET YOSHIOKA, H. (1984). Intrasegmental timing: Laryngeal-oral coordination in voiceless consonant production. *Speech Communication* 3, pages 279-289.
- MUNHALL, K. ET LÖFQVIST, A. (1992). Gestural aggregation in speech: laryngeal gestures. *Journal of Phonetics* 20, pages 111-126.
- PETURSSON, M. (1977). Timing of glottal events in the production of aspiration after [s]. *Journal of Phonetics* 5, pages 205-212.
- RIDOUANE, R. (2003). *Suites de consonnes en berbère: phonétique et phonologie*. Thèse de Doctorat, Université Paris 3.
- RIDOUANE, R., FUCHS, S. ET HOOLE, P. (2006). Laryngeal adjustments in the production of voiceless obstruent clusters in Berber. In Jonathan Harrington et Maria Tabain (eds.) *Speech production: models, phonetic processes, and techniques*. New York: Psychology Press, pages 275-301.
- SAWASHIMA, M. ET NIIMI, S. (1974). Laryngeal conditions in articulations of Japanese voiceless consonants. *Annual Bulletin, Research Institute of Logopedics and Phoniatrics* 8, pages 13-18.
- SERNICLAES, W. (1987). *Etude expérimentale de la perception du trait de voisement des occlusives du français*. Unpublished Ph. D. thesis, Université Libre de Bruxelles.
- STEVENS, K. N. (1999). *Acoustic phonetics*. Cambridge: MIT Press.
- YEOU, M., HONDA, K., MAEDA, S. (2008). Laryngeal adjustments in the production of consonant clusters and geminates in Moroccan Arabic. *Proceedings of the 8th International Seminar on Speech Production*, pages 249-252.
- Yoshioka, H., Löfqvist, A. et Hirose H. (1980). Laryngeal adjustments in Japanese voiceless sound production. Haskins Laboratories: Status Report on Speech Research SR63/64, pages 293-308.
- YOSHIOKA, H., LÖFQVIST, A. ET HIROSE H. (1981). Laryngeal adjustments in the production of consonant clusters and geminates in American English. *JASA* 70(6), pages 1615-1623.
- ZEROUAL, C. (2000). *Propos controversés sur la phonétique et la phonologie de l'arabe marocain*. Thèse de Doctorat Unifié, Université Paris 8.