



Les activités du larynx en berbère

Rachid Ridouane

► To cite this version:

Rachid Ridouane. Les activités du larynx en berbère. Langues et Linguistique, 2008, 17, pp.1-28. halshs-00382789

HAL Id: halshs-00382789

<https://shs.hal.science/halshs-00382789>

Submitted on 11 May 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LES ACTIVITES DU LARYNX EN BERBERE

RACHID RIDOUANE

CNRS/ Sorbonne Nouvelle

rachid.ridouane@univ-paris3.fr

ABSTRACT

Ce présent travail traite des ajustements glottaux et supraglottaux pendant la production des obstruents sourdes simples et géminées berbères en utilisant la méthode de la photoélectroglottographie (transillumination) combinée avec la fibroscopie. L'objet de l'étude concerne plus particulièrement les obstruents intervocaliques et examine l'effet de la gémination sur la durée acoustique (durées de l'occlusion et du VOT pour les occlusives), la durée des gestes d'ouverture et de fermeture de la glotte, le timing interarticulatoire et l'amplitude de l'ouverture glottale. Les résultats montrent que les géminées sont beaucoup plus longues que les simples aussi bien au niveau acoustique qu'au niveau glottal, mais que la durée d'aspiration (le VOT positif) est la même pour les deux séries d'occlusives. Le geste laryngal pour les géminées est plus large que pour les simples. Cependant, pour les occlusives, l'ouverture glottale au relâchement de la constriction paraît similaire pour les deux types de consonnes, d'où le même degré d'aspiration. Plusieurs auteurs ont argumenté de façon convaincante en faveur de l'importance du timing glottal dans le contrôle de l'aspiration, mais les résultats pour le berbère fournissent, en fait, un exemple frappant du phénomène inverse ; à savoir de timings radicalement différents, qui induisent des degrés similaires d'aspiration.

1. INTRODUCTION

Pendant la parole, les cordes vocales sont parfois en abduction pour satisfaire les contraintes aérodynamiques nécessaires pour la production des occlusives ou des fricatives sourdes (voir figure 1), et parfois en adduction comme lors de la tenue des voyelles ou des consonnes sonantes. L'abduction glottale est produite par l'écartement des cartilages aryténoïdiens auxquels sont fixées les extrémités postérieures des cordes vocales à l'arrière du larynx. L'adduction est produite par le rapprochement plus ou moins important de ces cartilages. Des ajustements spécifiques des cordes vocales, contrôlés par les muscles intrinsèques du larynx, sont produits selon la nature phonétique des consonnes ou des suites de consonnes. Ces ajustements affectent entre autres l'amplitude de l'ouverture glottale et le rapport temporel entre les gestes glottaux et les gestes supraglottaux.

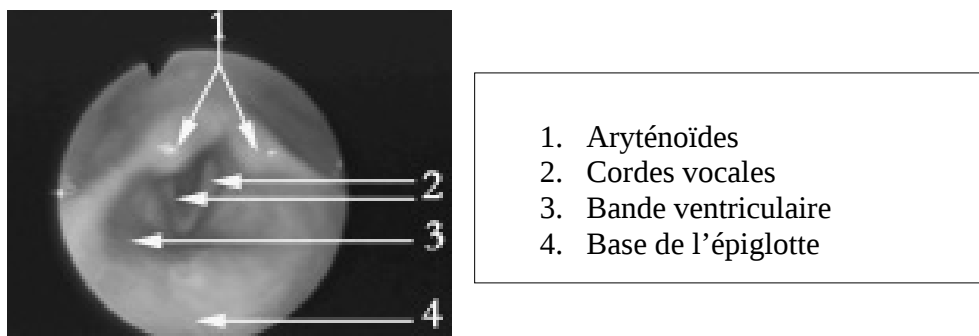


Figure 1. Une image de la glotte telle que nous pouvons la visualiser sur les films fibroscopiques.

Ce présent travail traite des ajustements glottaux et supraglottaux pendant la production des obstruents sourdes simples et géminés berbères en utilisant la méthode de la photoélectroglottographie (transillumination) combinée avec la fibroscopie. La langue de référence est le tachlhit tel qu'on le parle dans la région d'Agadir au sud du Maroc. A notre connaissance, cette étude fait partie des premiers travaux appliquant ces techniques d'investigation physiologique à l'étude d'une variété du berbère.¹ Vu ses caractéristiques linguistiques, cette langue est une addition plus que bienvenue à la liste des langues étudiées jusque là (essentiellement un groupe de langues germaniques plus le japonais). Les résultats des études précédentes sur les mots sourds ou sur les clusters hétéromorphémiques en berbère montrent en effet à quel point il est important de prendre des exemples en dehors des langues les mieux étudiées (voir Ridouane 2003 et Ridouane et al. sous presse).

¹ Voir aussi Ridouane (2002, 2003, 2004) et Ridouane et al. (2006).

Voici le plan de cet article. La section 2 décrit la procédure expérimentale pratiquée ici et le mode du traitement des données acoustiques et photoélectroglottographiques. Les stimuli linguistiques analysés sont présentés dans la section 3. La section 4 présente les différents événements sélectionnés et les critères des mesures effectuées pour les déterminer sur le signal acoustique et glottographique. Les résultats sont présentés dans la section 5, qui est subdivisée en deux parties correspondant aux deux modes d'articulations des obstruents analysés (occlusives et fricatives). La première partie compare les occlusives simples à leurs contreparties géminées et la deuxième compare les deux séries de fricatives. La nature des ajustements glottaux et leur rapport temporel avec l'articulation supraglottale seront déterminés et comparés avec les résultats obtenus par d'autres auteurs à partir d'autres langues. L'aspect principal développé dans la discussion, dans la section 6, concerne les différences d'aire glottique et du timing interarticulatoire entre simples et géminées et leurs influences respectives sur les mécanismes du contrôle de l'aspiration.

Avant de déterminer l'importance de l'un ou de l'autre paramètre (ou des deux) à la lumière des résultats en berbère, disons quelques mots sur ce que nous entendons par aspiration et consonnes aspirées en berbère. Nous employons les termes VOT positif et aspiration d'une manière indifférente, les deux étant considérés comme des synonymes du « bruit de relâchement » qui suit l'occlusion et qui dure au moins 30 ms.² Le VOT est considéré comme l'intervalle temporel entre le début du relâchement et l'onset du voisement de la voyelle qui suit. L'aspiration est définie temporellement comme l'intervalle entre le début du relâchement et l'onset du F2 de la voyelle qui suit. Une différence négligeable existe entre les mesures du VOT et les mesures qui se concentrent sur l'onset du F2 de la voyelle suivante ; le VOT étant d'une à deux périodes de voisement plus court.³ Pour notre part, nous avons mesuré l'intervalle entre le relâchement et l'onset du F2 de la voyelle qui suit. Ce critère de mesure n'a aucune incidence sachant qu'on l'a appliqué aussi bien pour les simples que pour les géminées.

Acoustiquement, trois phases sont détectées sur le signal acoustique entre l'onset du relâchement et l'onset de la voyelle qui suit : la barre d'explosion, sous forme de barre verticale sur le spectrogramme, d'une

² Voir Jessen (1998). Selon la revue de littérature présentée dans ce travail, différents termes sont utilisés pour désigner cet intervalle entre le relâchement et le début de la voyelle qui suit. Fischer-Jørgensen (1976) ainsi que Hutters (1985) emploient le terme « open interval », Shinn (1985) emploie le terme « noise duration ». Jessen (1998), quant à lui, parle aussi bien de VOT positif que d'aspiration pour désigner le même paramètre.

³ Fischer-Jørgensen & Hutters (1981 : 83), cité par Jessen (1998), ont observé une différence maximale de 46 ms entre le début du voisement et le début du F2 de la voyelle qui suit.

durée très brève ; le bruit de friction et l'aspiration proprement dite (Fant 1973, Stevens 1998). L'aspect principal qui caractérise la phase d'aspiration d'un point de vue acoustique, illustré par les spectrogrammes de Fant (1973), est que les structures formantiques (F2, F3 et F4) sont visibles pendant le relâchement juste avant le début de la voyelle qui suit. Cette même structure formantique est visible sur les spectrogrammes des occlusives sourdes en tachlhit, comme l'illustre la figure 2. Ce spectrogramme ressemble aussi au spectrogramme présenté par Lisker & Abramson (1964 : 390) pour la dentale /t/ aspirée du thai.

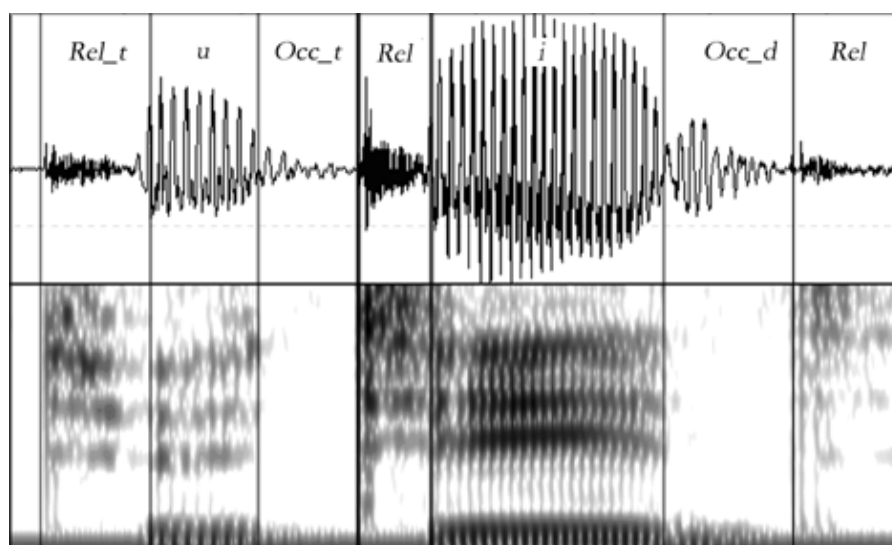


Figure 2. Le spectrogramme (échelle : 0-5KHz) de la forme /tutid/ « elle dépasse » illustrant les caractéristiques acoustiques d'une occlusive aspirée (tirée de Ridouane 2003).

L'aspiration est traditionnellement définie comme un souffle sourd ou « une bouffée d'air » qu'on entend après la rupture de l'occlusion. Heffner (1950 : 120, cité par Kim 1970), par exemple, donne la définition suivante : « If the release is impulsive or sudden, the rush of air out of the stopped cavity may be vigorous and puff-like [...] Stops which have this puff are called aspirated: stops which lack it are called unaspirated stops. » On retrouve de telles définitions traditionnelles dans beaucoup d'autres ouvrages notamment dans des manuels de phonétique générale (Jones 1956, Malmberg 1963). Dixit (1979) définit l'aspiration comme une « friction glottale » suivant le relâchement. Selon Lisker & Abramson (1964, 1971), l'aspiration est à expliquer exclusivement par un retard des vibrations glottales après la rupture de l'occlusion : « Aspiration [...] is regarded simply as a large delay in voice onset. » (Lisker & Abramson 1964 : 387). Abercombie (1967 : 148) partage la même analyse.

Suivant Hutters (1985 : 15), pour qui : « ... the definition of aspiration is – to a certain degree – a matter of purpose or of point of view, it may not be very relevant to discuss which of the definitions is right or wrong. », nous allons traiter principalement des explications physiologiques de l'aspiration et considérer laquelle rend le mieux compte des données observées en berbère.

2. LA PROCEDURE EXPERIMENTALE

La transillumination est une méthode qui fournit des moyens fiables et clairs pour observer les ajustements de la glotte pendant la production des segments d'une langue donnée. Les résultats obtenus à l'aide de cette technique sont pratiquement aussi fiables que ceux obtenus par des moyens plus directs d'enregistrement laryngale comme la fibroscopie (voir Löfqvist & Yoshioka 1980, Baer et al. 1983). Néanmoins, l'avantage de la transillumination, en plus d'un gain de temps important lors du traitement des données, est qu'elle permet d'une manière plus fiable de déterminer la nature des rapports temporels entre les gestes glottaux et les gestes supralaryngaux. Ceci est dû notamment à la fréquence plus rapide de la transillumination (200 Hz), comparée à celle de la fibroscopie (25 images par seconde).

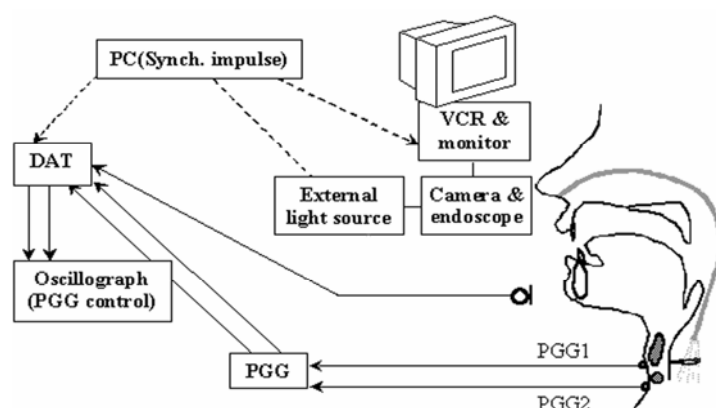


Figure 3. Schéma illustrant la procédure d'enregistrement par transillumination (adapté de Fuchs 2003)

La transillumination consiste en une source de lumière qui illumine la glotte et un phototransistor localisé sur le côté opposé du larynx et qui enregistre le degré de lumière qui passe à travers la glotte pendant son ouverture. Plus la glotte est ouverte, plus l'intensité de cette lumière est importante, et inversement. La glotte est illuminée à l'aide d'un fibroscope (Olympus ENG - P3) inséré à travers la narine du sujet et relié à une caméra connectée à un vidéo-enregistreur (Hitachi CCT) avec moniteur (voir la figure 3). Pour fournir le degré suffisant de lumière, une source lumineuse externe a été attachée à l'endoscope. Deux phototransistors (PGG1 et

PGG2 dans la figure 3) ont été collés au cou du sujet et connectés à un photoélectroglottographe (Type LG 900 N°. 13). PGG1 a été placé entre le cartilage thyroïdien et le cartilage cricoïdien et PGG2 au-dessous du cartilage cricoïdien. Toutes les données traitées dans cette étude sont extraites de PGG2, le signal extrait de PGG1 étant plus sensible aux mouvements verticaux du larynx et de l'épiglotte et présente souvent des amplitudes très hautes à cause notamment de la proximité du phototransistor de la glotte (cf. Jessen 1998). L'enregistrement s'est déroulé au laboratoire de phonétique Zentrum für Allgemeine Sprachwissenschaft (ZAS) à Berlin.⁴

Les données acoustiques et photoélectroglottographiques, prises avec un microphone *Sennheiser MKH 20*, ont été enregistrées sur un support DAT (Sony PC 208 Ax). Les signaux PGG1 et PGG2 ont été contrôlés à travers un oscillographe (voir figure 3). Les signaux de synchronisation ont été envoyés à partir d'un ordinateur Pc vers une chaîne de l'enregistreur vidéo et vers le DAT. Ce signal a permis de couper les données en fichiers ayant chacun une durée de 3 secondes permettant ainsi l'alignement des données acoustiques sur les données photoélectroglottographiques. Les données acoustiques ont une fréquence d'échantillonnage de 24 000 Hz et celles de la photoélectroglottographie une fréquence de 200 Hz.⁵

Parmi les méthodes de phonétique instrumentale, la transillumination, combinée avec la fibroscopie, est généralement considérée comme une méthode semi-invasive. La présence d'un médecin au moment de l'enregistrement est donc obligatoire. Il est souvent recommandé de procéder à une anesthésie locale pour réduire la sensibilité à la présence d'un objet dans le pharynx et garantir ainsi le bien être du sujet. Disons le, la procédure n'est pas des plus confortables, principalement au moment de l'insertion du fibroscope. C'est essentiellement pour cette raison que c'est souvent un seul locuteur, généralement le chercheur lui-même (elle-même), qui sert comme unique sujet dans de telles expériences (e.g. Löfqvist & Yoshioka 1980, Löfqvist & Pétursson 1978, Dixit 1989, Jessen 1998). Dans certaines études, deux ou trois personnes peuvent servir de sujets (e.g. Sawashima 1970, Kagaya 1974, Hoole et al. 1984, Cooper 1991, Munhall et al. 1994, Ridouane 2003).⁶ Pour cette étude, un seul sujet (l'auteur) a pris part à l'expérience photoélectroglottographique. Une

⁴ Les lumières de la chambre où s'est déroulé l'enregistrement ont été presque toutes éteintes, les rideaux des fenêtres abaissés et une serviette a été mise autour du cou du sujet pour garantir que les phototransistors n'enregistrent que la lumière de l'endoscope.

⁵ La visualisation simultanée des données acoustiques et photoélectroglottographiques et leur traitement ont été effectués à l'aide de scripts écrits par P. Hoole (IPSK, Munich) et C. Mooshammer (IPDS, Kiel) en utilisant le logiciel Matlab.

⁶ Le cas de Hutter (1984) qui a enregistré 5 locuteurs demeure extrêmement rare.

expérience phonétique basée sur les données d'un seul locuteur, l'auteur de surcroît, peut poser quelques problèmes potentiels. Connaissant l'objectif de l'étude qu'il mène, les résultats peuvent être influencés. Un autre risque est que la réalisation d'un seul sujet peut être atypique et ne pas refléter celle des autres locuteurs de la même langue. Néanmoins, l'examen des données acoustiques telles qu'elles sont réalisées par ce sujet montre de grandes similitudes avec les réalisations d'autres sujets (7 locuteurs) non informés du but de l'étude et présentées dans un travail antérieur (Ridouane 2003). Il semble aussi peu probable que des variations des gestes d'ouverture-fermeture de la glotte soient significatives pour un locuteur mais pas pour d'autres parlant la même variété de langue (cf. Jessen 1998 pour l'allemand, Cooper 1991 pour l'anglais).

3. LES STIMULI LINGUISTIQUES

Les segments sujets de cette investigation sont les occlusives et fricatives sourdes simples et géminées présentées dans la Table 1. Leurs contreparties sonores n'ont pas été incluses car elles ne sont pratiquement jamais produites avec un geste d'ouverture glottale visible. L'étude est limitée aux seules occlusives dentales et vélaires et aux fricatives labiales et dentales car ce sont généralement ces mêmes consonnes qui sont analysées dans des études similaires sur d'autres langues. Nous allons donc pouvoir comparer plus facilement nos résultats avec les résultats de ces études. Les analyses sont axées sur la position intervocalique, pas uniquement parce que la majorité des études de transillumination traitent de ce type de segments mais aussi parce que certains paramètres ne peuvent être mesurés pour la position initiale ou finale. En position initiale absolue, seul le geste de fermeture glottale est visible. Pour la position finale, seul un geste d'ouverture est produit qui continue généralement en s'élargissant après la pause et pendant la phase respiratoire (voir Ridouane 2003). Les formes dans (1) sont des paires minimales qui se ne distinguent que par la présence ou l'absence de la gémination. Elles ont été choisies en évitant l'adjacence des segments cibles avec la voyelle arrière /u/ ou basse /a/, car pendant la tenue de ces voyelles, la racine de la langue ou l'épiglotte peut obstruer le fibroscope et empêcher ainsi d'avoir une meilleure observation des mouvements articulatoires au niveau laryngal.

Table 1. La liste des formes analysées lors de l'expérience PGG .⁷

Segment cible	Forme	Gloss.
/t/	itili	'pour la brebis'
/tt/	ittili	'qu'il aie'
/k/	ikiyi	'pour toi'
/kk/	ikkiyi	'qu'il passe'
/f/	ifit	'il l'a donné'
/ff/	iffit	'il l'a versé'
/s/	isin	'pour deux'
/ss/	issin	'sache'

Chaque forme a été incluse dans une phrase cadre (ini --- yat twalyt 'dis -- une fois') et répétée 15 fois dans deux sessions différentes. Seules les formes produites lors de la première session (5 répétitions pour chaque forme) sont analysées ici. Sachant en effet que la distance entre l'endoscope et la glotte peut varier ostensiblement d'une session à une autre, il est recommandé, pour une analyse plus fiable, de ne comparer que les données prises dans une même session (voir Hutters 1976, Hoole 1999, et Jessen 1998).

4. MESURES : CRITERES ET EVENEMENTS

Un ensemble d'évènements a été marqué sur les signaux acoustiques et articulatoires des formes analysées dans cette expérimentation (voir figure 4). Un label a été assigné à chaque événement et sa localisation temporelle extraite et utilisée ensuite pour calculer les différentes variables en termes d'intervalles de durée. Ces intervalles peuvent être acoustiques (e.g. la durée de l'occlusion orale), glottales (e.g. la durée de l'ouverture glottale) ou les deux combinés (e.g. intervalle entre le relâchement de l'occlusion et l'ouverture maximale de la glotte). Les événements acoustiques ont été déterminés visuellement à partir des oscillogrammes et des spectrogrammes. Les événements acoustiques libellés pour les occlusives sont :

- a. L'onset de la consonne = **OnC** ;
- b. L'onset du relâchement oral = **Rel** ;
- c. L'onset de la voyelle suivante = **OnV**.

⁷ Ces formes sont notées dans une transcription phonétique large, en faisant abstraction des bords de morphème.

Pour les fricatives, dépourvues de relâchement oral, seuls l'onset de la consonne et l'onset de la voyelle suivante ont été libellés. L'onset de la consonne a été déterminé à partir des spectrogrammes comme l'offset du F2 de la voyelle précédente. L'onset de la voyelle suivante a été déterminé comme l'onset du F2 de cette voyelle. Les événements glottiques suivants ont été déterminés d'une manière algorithmique :

- a. L'onset du geste d'ouverture glottale = **on_gov** ;
- b. L'offset du geste d'ouverture glottale = **off_gov**
- c. L'onset du geste de fermeture glottale = **on_gfr** ;
- d. L'offset du geste de fermeture glottale = **off_gfr**.

Il est assez difficile de déterminer exactement l'onset et l'offset des gestes d'ouverture et de fermeture de la glotte en se basant uniquement sur la courbe indiquant l'ouverture glottale (PGG2F dans la figure 4). C'est pour cela que ces événements sont généralement déterminés en se basant sur les points extrêmes de la courbe de vélocité (PGG2V).

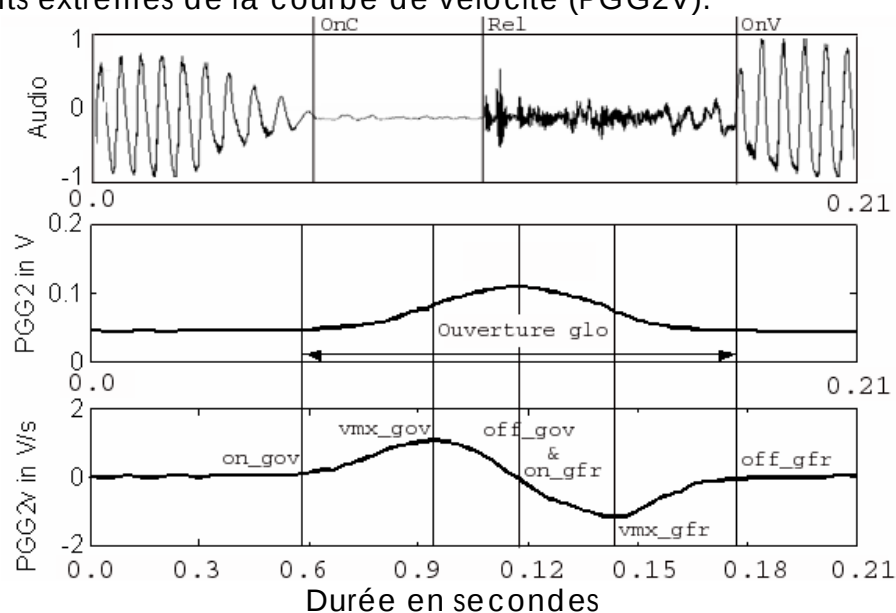


Figure 4. Exemple des différents événements acoustiques et glottaux définis dans cette expérimentation. PGG2F indique l'ouverture glottale et PGG2V indique la courbe de vélocité.⁸

Un seuil de 5% a été utilisé comme point de repérage des différents gestes d'ouverture et de fermeture de la glotte. Ce pourcentage est basé sur la distance entre le point extrême (le point d'intersection zéro) et le sommet de la vélocité (Hoole et al. 1984, Jessen 1998, Fuchs 2003) sur les gestes

⁸ Deux autres événements, non utilisés dans cette étude, ont été marqués sur le signal glottographique (la vélocité maximale du geste d'ouverture glottale (vmw_gov) et la vélocité maximale du geste de fermeture de la glotte vmx-gfr).

d'ouverture et de fermeture de la glotte. L'avantage d'un tel procédé est qu'il est algorithmique ; les événements libellés peuvent être déterminés quantitativement sans passer par une inspection visuelle.

La table (2) reproduit la liste complète des variables mesurées. Ces variables correspondent aux intervalles temporels entre les différents événements acoustiques et glottographiques, présentés ci-dessus⁹. La seule variable non temporelle analysée dans cette étude est l'ouverture maximale de la glotte (OMG). Elle a été mesurée d'une manière algorithmique en procédant à la soustraction suivante : la valeur indiquant le degré de l'ouverture glottale de **off_gov** – la valeur indiquant le degré de l'ouverture glottale de **off_gfr**.

Table 2. La liste des variables utilisées dans cette expérimentation.

Nom de la variable	Intervalle
Durée de l'occlusion	Rel – OnC
Durée d'aspiration	OnV – Rel
Durée totale de la fricative ou de l'occlusive	OnV – OnC
Durée de l'ouverture glottale	Off_gfr – On_gov
Durée du geste d'ouverture glottale	Off_gov – On_gov
Durée du geste de fermeture glottale	Off_gfr – On_gfr
Intervalle entre OMG et Rel	Rel – OMG
Intervalle entre ONC et OMG	OMG – OnC
Ouverture maximale de la glotte (OMG)	-----

5. RESULTATS

Cette section est organisée autour de deux séries de comparaisons. L'objectif principal de ce travail étant de comparer les simples aux géminées, il s'agira donc principalement d'examiner l'effet de la gémination sur les différentes variables mesurées en comparant d'abord les séries des occlusives, et traiter ensuite les deux séries des fricatives.

⁹ Les intervalles temporels entre les événements acoustiques ont été extraits automatiquement à partir des fichiers segmentés en utilisant un script écrit par Cédric Gendrot (Laboratoire de Phonétique et Phonologie, Paris).

5.1 Occlusives simples et géminées.

Les paramètres acoustiques mesurés sont la durée de l'occlusion et la durée du VOT¹⁰. Les résultats montrent que les simples et les géminées se distinguent essentiellement en terme de durée d'occlusion ; les géminées étant systématiquement produites avec une durée plus longue. Pour les dentales, les mesures montrent que la durée de l'occlusion varie entre 40 et 55 ms pour les simples et entre 160 et 205 ms pour les géminées. Pour les vélaires, cette durée varie entre 44 et 62 ms pour les simples et 153 et 175 ms pour les géminées. La durée du VOT par contre n'est pas un paramètre qui permet de distinguer les deux séries d'occlusives. Pour les dentales, les mesures montrent que la durée de l'aspiration varie entre 45 et 67 ms pour les simples et entre 44 et 60 ms pour les géminées. Pour les vélaires, la durée de l'aspiration varie entre 46 et 70 ms pour les simples et entre 45 et 55 ms pour les géminées. La comparaison des durées moyennes pour les géminées et les simples indique que ces dernières ont une durée (55 ms, DS = 8) légèrement supérieure à celle des géminées (49 ms, DS = 6). Mais cette différence n'est pas importante ni systématique. Ces résultats rejoignent les résultats d'une étude acoustique antérieure sur le tachlhit (à partir de 7 locuteurs) et confirment une tendance largement partagée par les langues opposant les simples aux géminées.¹¹ Le dernier paramètre acoustique mesuré, la durée totale de l'occlusive, permet aussi de distinguer les simples des géminées. Les géminées ont une durée totale beaucoup plus importante que celle des simples. Ce paramètre n'est pas une variable indépendante puisqu'il est entièrement attribuable à la durée de l'occlusion. Il a été mesuré essentiellement pour permettre de comparer plus facilement la durée de l'ouverture glottale à la durée acoustique des occlusives.

Concernant les paramètres glottaux, la figure (5) montre que les géminées ont une durée d'ouverture glottale plus longue que celle des simples (une différence moyenne de 107 ms). Cette différence est prédictible puisqu'elle reflète la différence de durée acoustique entre les simples et les géminées.

¹⁰ L'objectif de l'analyse acoustique n'est évidemment pas de présenter une étude exhaustive sur les caractéristiques acoustiques des géminées, puisque l'échantillon analysé ici est réduit et ne permet pas de procéder à des analyses statistiques. L'intérêt de cette partie est qu'elle permet de comparer les durées d'ouverture glottales avec les durées acoustiques, ainsi que de traiter des mécanismes du contrôle du VOT pour les deux séries d'occlusives. Une étude détaillée sur les corrélats acoustiques des géminées est présentée par l'auteur de ce travail dans une étude antérieure (voir Ridouane 2003). Voir aussi les travaux de Ouakrim (1993, 1994) sur ce même sujet dans cette même variété du berbère.

¹¹ Voir Ridouane (2003) pour une revue de la littérature sur cet aspect des géminées.

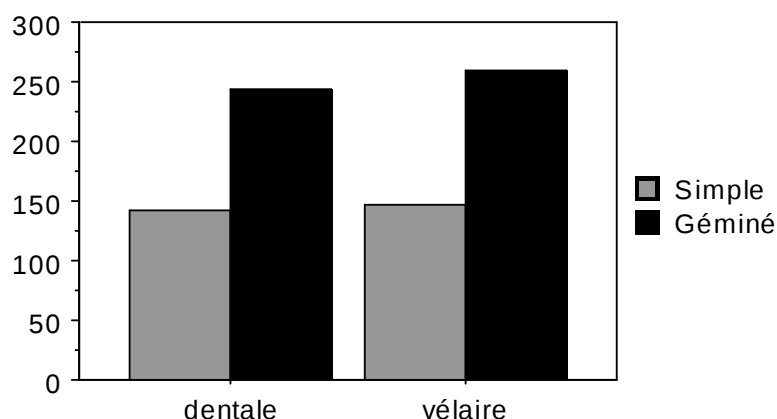


Figure 5. Les durées moyennes de l'ouverture glottale pour les occlusives simples et géminées sourdes.

La comparaison entre les durées acoustiques et glottiques révèle des différences notables. La durée de l'ouverture glottale est en moyenne de 39 ms plus longue que la durée acoustique de l'occlusive (41 ms pour les simples et 37 ms pour les géminées). Cela signifie que la glotte commence à s'ouvrir avant l'onset de l'occlusion et se referme bien après le relâchement. Cette configuration est typique des occlusives sourdes aspirées (voir Stevens 1998 : 456).

L'ouverture glottale étant constituée d'un geste d'ouverture et d'un geste de fermeture de la glotte, une question est de savoir si la différence observée entre les simples et les géminées a lieu pendant la phase d'ouverture de la glotte, ou la phase de fermeture, ou pendant les deux phases. Les résultats, illustrés par les figures 6 et 7, montrent que cette différence est équitablement répartie sur les deux phases.

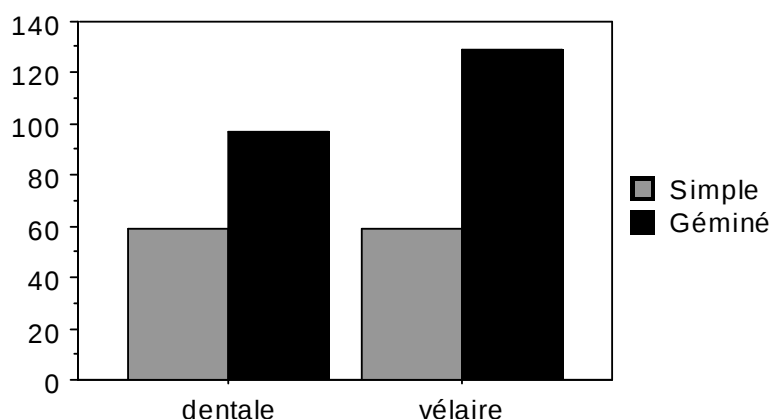


Figure 6. Les durées moyennes du geste d'ouverture glottale pour les occlusives simples et géminées sourdes.

Concernant le geste d'ouverture, les mesures montrent qu'il dure 59 ms en moyenne pour les simples (DS = 10) et 113 ms pour les géménées (DS = 25). La durée de ce geste pour les géménées est donc en moyenne de 54 ms plus longue.

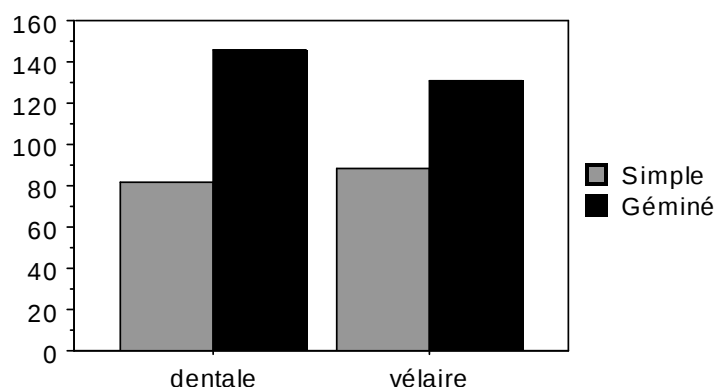


Figure 7. Les durées moyennes du geste de fermeture glottale pour les occlusives simples et géménées sourdes.

Concernant le geste de fermeture, les mesures indiquent qu'il dure 85 ms en moyenne pour les simples (DS = 13) et 138 ms pour les géménées (DS = 22) avec une différence moyenne de 53 ms. Ces mesures indiquent aussi que la durée du geste de fermeture glottale est toujours plus longue que celle du geste d'ouverture glottale. Ce résultat, qui indique que les deux gestes sont asymétriques et que la glotte met plus de temps à se refermer qu'à s'ouvrir, s'accorde avec les observations de Munhall et al. (1985) et de Löfqvist & McGarr (1987) tirées de l'anglais américain.

Comme nous l'avons souligné plus haut, un des aspects principaux traités dans ce travail concerne les mécanismes du contrôle de l'aspiration. Pour certains auteurs, c'est principalement le rapport temporel entre les événements glottaux et supraglottaux qui détermine l'aspect aspiré ou non aspiré d'une occlusive (Pétursson 1976, Löfqvist 1980, Ladefoged & Maddieson 1996). D'autres, au contraire, considèrent que le mécanisme principal est lié à l'amplitude l'ouverture glottale (Sawashima & Miyazaki 1973, Kagaya 1974, Hutters 1985, Jessen 1998). Nous présentons ci-dessous les résultats des analyses de ces deux paramètres. Leur implication dans le contrôle de l'aspiration (ou de la durée du VOT) sera développée dans la discussion.

Concernant le rapport temporel entre les gestes glottaux et supraglottaux, et notamment l'intervalle entre l'amplitude maximale de la glotte et le relâchement oral, la figure 8 indique que les géménées et les simples sont produites avec deux timings interarticulatoires radicalement différents.

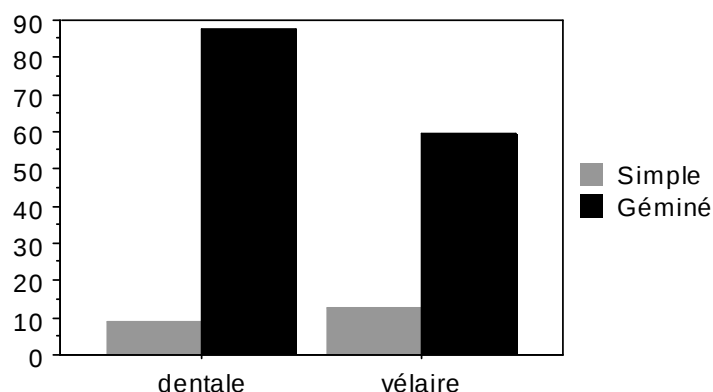


Figure 8. Les durées moyennes de l'intervalle entre le relâchement oral et l'ouverture maximale de la glotte pour les occlusives simples et géminées sourdes.

L'intervalle entre le relâchement oral et l'ouverture maximale de la glotte est beaucoup plus important pour les géminées que pour les simples. Pour les dentales, cet intervalle varie entre 0 et 10 ms pour les simples et entre 55 et 120 ms pour les géminées. Pour les vélares, cet intervalle varie entre -10 et 20 ms pour les simples et entre 55 et 70 ms pour les géminées¹². Une vue plus précise du timing interarticulatoire pour les sourdes simples et géminées est donnée dans la figure 9. Le rapport entre la durée de cet intervalle et la durée de l'occlusion est évident : plus la durée de l'occlusion est longue, plus l'intervalle entre l'ouverture maximale de la glotte et le relâchement de l'occlusive est important.

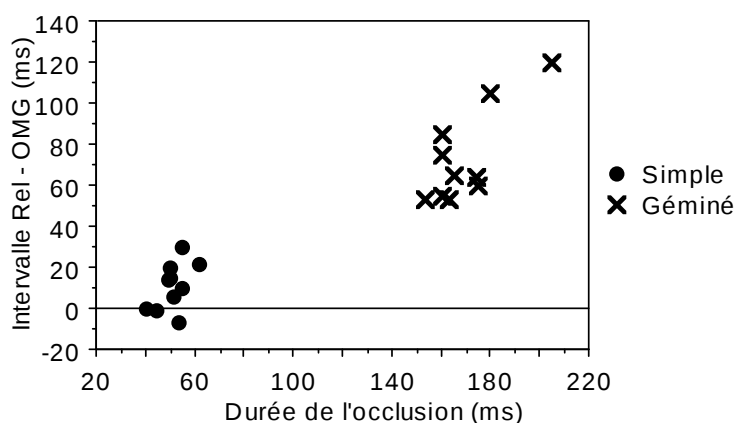


Figure 9. Illustration du rapport entre (Rel-OMG) et la durée d'occlusion pour les simples et les géminées occlusives sourdes.

¹² La valeur négative de cet intervalle indique que le relâchement oral a lieu avant que la glotte ait atteint son ouverture maximale. La valeur 0 indique que le relâchement a lieu au moment où l'ouverture de la glotte atteint son niveau maximal.

Concernant l'amplitude l'ouverture glottale, les résultats montrent que les occlusives géminées sont systématiquement produites avec un degré d'ouverture glottale beaucoup plus important que les simples correspondantes¹³. L'amplitude de cette ouverture varie entre 0.75 et 1.94 pour les simples et entre 5.71 et 13.07 pour les géminées. La figure 10 illustre ces différences.

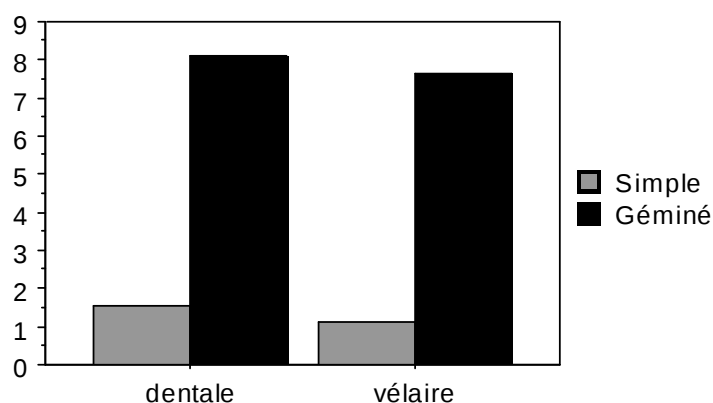


Figure 10. Les degrés moyens de l'ouverture maximale de la glotte pour les occlusives simples et géminées sourdes. Ces unités de mesure sont arbitraires.

Ce résultat rejoint les observations faites par fibroscopie laryngale à partir de deux locuteurs et présentées dans un travail antérieur (voir Ridouane 2003). La figure 11 illustre cette différence entre une géminée /tt/ et sa contrepartie simple /t/.

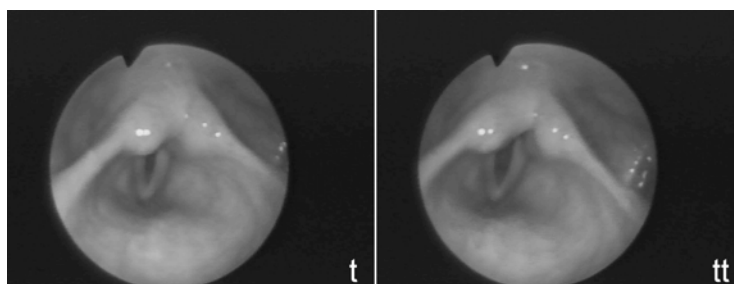


Figure 11. Illustration de la différence d'amplitude glottale entre une occlusive dentale simple /t/ et sa contrepartie géminée /tt/. Ces figures correspondent à l'ouverture maximale de la glotte pendant la tenue de ces deux segments.

5.2 Les fricatives simples et géminées.

Comme pour les occlusives et conformément à une tendance quasi universelle, les fricatives géminées ont une durée totale beaucoup plus importante que leurs contreparties simples. Les mesures indiquent que la

¹³ Les différences d'amplitude d'ouverture glottale entre les occlusives simples et leurs contreparties géminées ont été observées pour l'arabe marocain aussi (Zeroual, Communication personnelle)

durée moyenne d'une labiale simple est de 113 ms (DS = 12) et de 196 ms (DS = 14) pour sa contrepartie gémignée. Pour les dentales, la fricative simple dure en moyenne 129 ms (DS = 10) et la gémignée 229 ms (DS = 13). La durée totale de l'ouverture glottale est aussi un paramètre permettant de distinguer les simples des gémignées. Les simples ont une durée d'ouverture glottale de 159 ms (DS = 12) et les gémignées de 257 ms (DS = 21).

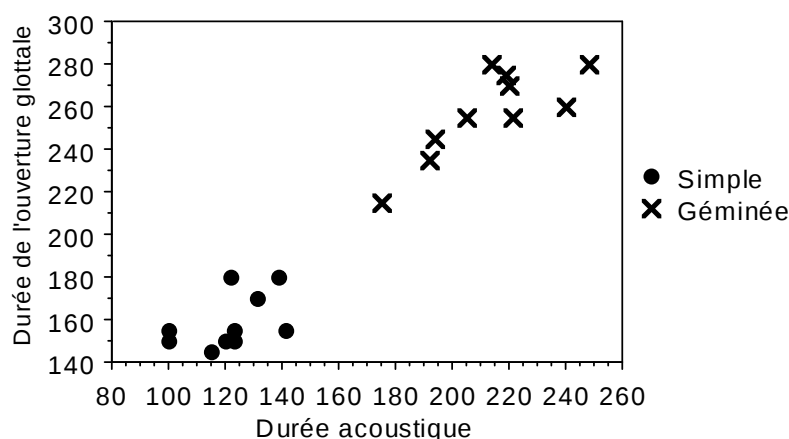


Figure 12. Illustration du rapport entre la durée acoustique et la durée de l'ouverture glottale pour les fricatives simples et gémignées sourdes.

Ce paramètre, comme pour les occlusives, est entièrement attribuable à la durée acoustique de la fricative. Cette corrélation est reflétée par la figure 12. Ce résultat rappelle la tendance observée pour les occlusives, à savoir que la durée de l'ouverture glottale est toujours plus importante que la durée acoustique.

La figure 13 illustre les différences entre les simples et les gémignées en terme de durée du geste d'ouverture. Pour les simples, le geste d'ouverture glottale dure 71 ms en moyenne (DS = 9) et 94 ms pour les gémignées (DS = 18).

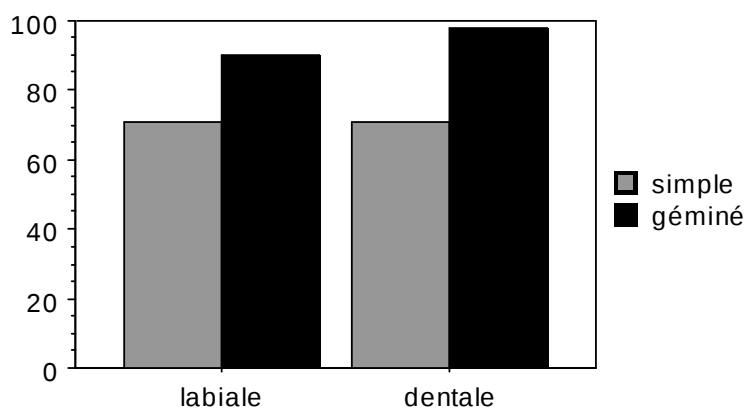


Figure 13. Les durées moyennes du geste d'ouverture glottale

pour les fricatives simples et géminées sourdes.

La différence concernant le geste de fermeture est encore plus importante selon la nature simple/géminée de la fricative. En effet, si la différence moyenne entre simples et géminées concernant le geste d'ouverture est de 23 ms, cette différence est de 70 ms pendant la phase fermante. Les mesures, illustrées par la figure 14, indiquent que le geste de fermeture dure en moyenne 88 ms pour les simples (DS = 7) et 158 ms pour les géminées (DS = 16).

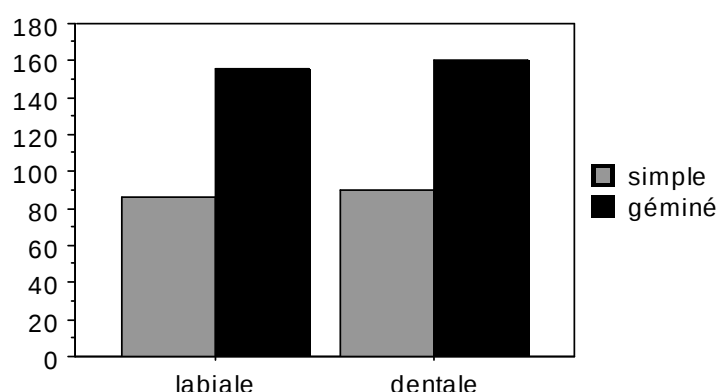


Figure 14. Les durées moyennes du geste de fermeture glottale pour les fricatives simples et géminées sourdes.

Ces résultats indiquent, comme pour les occlusives, que le geste balistique d'ouverture-fermeture de la glotte n'est pas symétrique : la glotte met plus de temps à se refermer qu'à s'ouvrir. Cette observation s'accorde avec les résultats de Löfqvist & McGarr (1987) qui ont montré que le geste d'adduction pendant la tenue de la fricative /s/ de l'anglais américain est généralement plus long que le geste d'abduction.

L'intervalle entre le degré maximal de l'ouverture glottale et l'onset de la consonne a été mesuré pour les fricatives. Ce paramètre, illustrée par la figure 15, indique une différence notable entre les simples et les géminées. Cet intervalle est de 48 ms en moyenne pour les simples et de 71 ms pour les géminées.

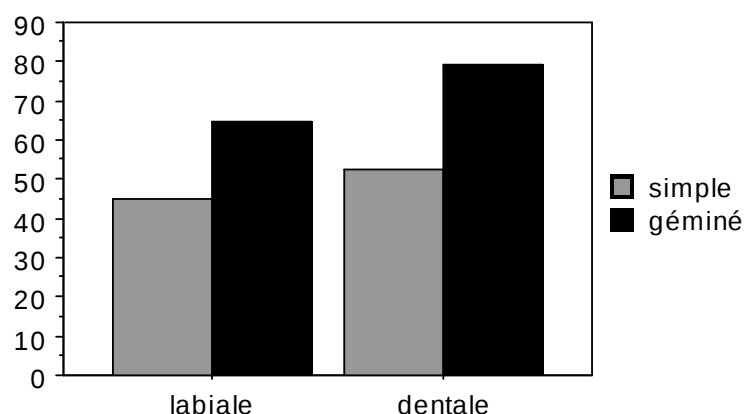


Figure 15. Les durées moyennes de l'intervalle entre l'ouverture maximale de la glotte et l'onset de la consonne pour les fricatives simples et géminées sourdes.

Cette différence est entièrement attribuable à l'influence de la durée de la fricative sur la durée de cet intervalle : plus la fricative est longue, plus l'ouverture maximale est retardée par rapport à l'implosion de la consonne. En effet, si on prend en considération la durée totale de l'ouverture glottale, on s'aperçoit que la glotte, toute proportion gardée, met à peu près le même temps aussi bien pour les simples que pour les géminées, pour atteindre son ouverture maximale (30% pour les simples et 28% pour les géminées).

Le dernier paramètre mesuré, le degré d'ouverture maximale de la glotte, n'indique pas de différences constantes entre les simples et les géminées. Contrairement aux occlusives, les fricatives géminées ne présentent pas systématiquement un degré d'ouverture glottale plus large. Comme l'indique la table (3), certaines répétitions de la fricative simple sont produites avec une amplitude glottale similaire voire parfois supérieure à celle de leurs contreparties géminées.

Table 3. Le degré de l'ouverture glottale pour toutes les répétitions des fricatives simples et géminées. La durée moyenne et la déviation standard sont indiquées en gras pour chaque fricative. Les unités de mesure sont arbitraires.

Labiales		Dentales	
Simple	Géminée	Simple	Géminée
5.90	7.89	3.55	14.21
5.11	2.95	3.62	6.20
1.40	9.03	2.56	3.29
2.13	4.10	2.92	4.93
3.55	3.41	2.22	7.40
Moy. 3.62	5.47	2.97	7.21
D.S. 1.91	2.79	0.61	4.20

Cette absence de différence systématique entre fricatives simples et géminées rejoint les observations faites par fibroscopie laryngale et présentées dans Ridouane (2003). La figure 16 montre que la différence d'aire glottique entre /s/ et /ss/ n'est pas aussi importante qu'entre /t/ et /tt/ illustrée par la figure 11 ci-dessus.

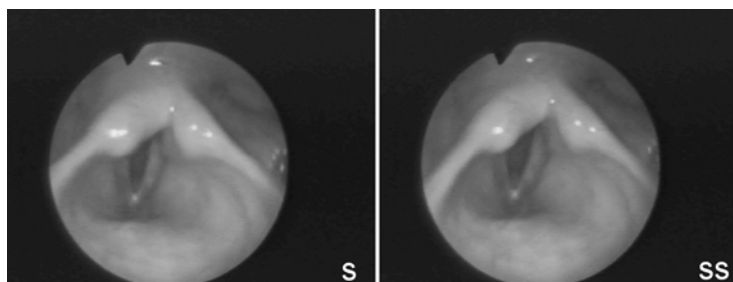


Figure 16. Illustration du degré de l'ouverture glottale pendant la tenue de la fricative dentale simple /s/ et de sa contrepartie géminée /ss/. Ces deux figures correspondent à l'ouverture maximale de la glotte pendant la tenue de ces deux segments.

6. DISCUSSION ET CONCLUSION

Les résultats obtenus à partir de l'analyse des occlusives et des fricatives sourdes indiquent des différences temporelles importantes entre les simples et les géminées. Les consonnes géminées, occlusives ou fricatives, se distinguent des simples par leurs durées acoustiques et leurs durées d'ouverture glottale plus importantes. La durée du VOT ne permet pas, par contre de distinguer les simples des géminées, les deux étant produites avec pratiquement les mêmes durées. Ces résultats rejoignent les résultats d'une étude acoustique plus détaillée (voir Ridouane 2003) et confirment que la distinction entre les consonnes simples et les géminées est essentiellement une distinction de structure temporelle.

Un autre résultat important concerne la différence systématique entre durée acoustique et durée d'ouverture glottale, la dernière étant toujours plus longue que la première. Il ressort de nos mesures que la durée du geste de fermeture est toujours plus longue que celle du geste d'ouverture indiquant ainsi que le cycle balistique d'ouverture-fermeture de la glotte n'est pas symétrique. Ces résultats, même s'ils ne reposent que sur un seul locuteur, rejoignent pour l'essentiel les résultats d'autres auteurs à partir des langues germaniques. Si cette tendance se confirme dans d'autres langues, on peut supposer qu'il s'agit là de constantes universelles dues aux contraintes aérodynamiques (voir entre autres Munhall et al. 1985, Löfqvist & McGarr 1987, Stevens 1998). Une différence

notable entre occlusives d'une part et fricatives de l'autre doit être néanmoins signalée. Elle concerne la nature de la variation de l'aire glottique entre simples et géminées selon que les segments sont des occlusives ou fricatives. Alors que la différence de l'amplitude glottale est systématique pour les occlusives, les géminées étant toujours produites avec une amplitude plus importante, elle l'est moins pour les fricatives.

6.1. L'amplitude l'ouverture glottale des occlusives géminées

Pourquoi les occlusives géminées sourdes sont-elles systématiquement produites avec une ouverture glottale aussi large ? Quel est l'intérêt d'une telle ouverture systématique ? Nous savons que d'un point de vue biologique, le contrôle de l'ouverture glottale est généralement partie intégrante d'autres activités comme la respiration, les réflexes de protection ou la parole. Selon Löfqvist et al. (1981), la largeur de l'ouverture glottale n'est presque jamais utilisée à elle seule pour distinguer entre deux types de consonnes qui seraient autrement identiques. D'un point de vue phonétique, l'aperture glottale en elle-même n'est pas utilisée d'une manière indépendante pour signaler des oppositions phonologiques. Pendant la parole, l'ouverture et la fermeture glottales ont toujours lieu par rapport aux événements supraglottaux, et ce sont les variations dans ce rapport temporel qui sont souvent utilisées pour des fins phonologiques. On peut donc légitimement se demander dès lors quel est l'intérêt de maintenir systématiquement une telle différence, sachant que, ayant lieu au moment de l'occlusion, elle n'a pas d'incidence acoustique directe ?

On peut supposer que le degré de l'ouverture glottale est une fonction de la durée de l'ouverture glottale. Autrement dit, plus la durée de l'ouverture glottale est longue, plus son amplitude est large. Une deuxième hypothèse est de postuler que la largeur de l'ouverture glottale est un aspect inhérent aux géminées occlusives sourdes qui sont produites avec une forte augmentation de la pression intraorale et/ou avec un contact très fort entre le palais et la langue. Ces deux hypothèses seront testées en commençant par la première. La figure 17, où le degré de l'ouverture glottale est aligné sur la durée de l'ouverture glottale, laisse supposer qu'effectivement plus l'ouverture de la glotte est longue, plus elle est large. Autrement dit, plus la durée entre l'initiation du geste d'abduction et la fin du geste d'adduction est longue, plus la largeur maximale atteinte sera grande.

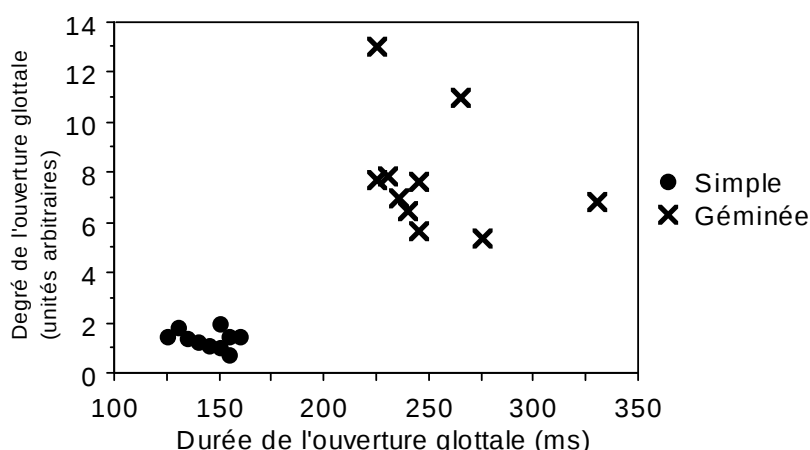


Figure 17. Illustration du rapport entre la durée et le degré maximal de l'ouverture glottale pour les occlusives simples et géminées sourdes.

La figure 17 indique qu'au-dessous d'une certaine durée (160 ms pour nos données), la glotte entame un geste d'ouverture dont l'amplitude est moins importante. La comparaison entre ces données et les données du japonais, qui est une des rares langues disposant de géminées tautomorphémiques à avoir fait l'objet d'analyses détaillées, montre des divergences importantes. Selon Sawashima & Miyazaki (1973 : 4), dont l'objet principal était justement de traiter de la corrélation entre l'amplitude et la durée de l'ouverture glottale : « There seems to be no correlation between the peak value and the duration. » Ces deux auteurs ont comparé la vélaire simple /k/ à sa contrepartie géminée /kk/ (6 répétitions pour chaque forme par un locuteur). Leurs résultats indiquent que, contrairement au berbère, la géminée /kk/, bien qu'elle soit produite avec une ouverture glottale plus longue, présente des amplitudes similaires à celle de sa contrepartie simple /k/. Pétursson (1976), qui a analysé entre autres la géminée sourde non aspirée et l'occlusive simple aspirée de l'islandais, n'a pas à proprement parler traité de la corrélation entre la durée et l'amplitude de l'ouverture glottale, mais les différentes mesures présentées dans son travail peuvent néanmoins nous renseigner sur cet aspect. Dans cette langue, les géminées sont produites avec une durée d'ouverture glottale plus importante que les occlusives simples aspirées, mais les deux séries d'occlusives sont produites avec quasiment les mêmes amplitudes glottales. Ainsi, l'amplitude de l'ouverture glottale en islandais n'est pas non plus corrélée avec la durée de cette ouverture. D'autres études ont traité de la différence entre segments simples et géminés, mais contrairement au berbère et au japonais, il s'agit dans ces études de suites de deux consonnes identiques séparées par une frontière morphologique. Yoshioka et al. (1981) ont examiné les gestes d'ouverture glottale dans diverses séquences d'obstruents sourdes dont la géminée

hétéromorphémique /k#k/ en anglais américain. Leurs résultats indiquent qu'acoustiquement, la gémignée se réalise avec une occlusion orale plus longue que la simple /k/, suivie d'un degré d'aspiration semblable à celui d'une occlusive simple aspirée. Concernant le geste glottal, la gémignée est produite avec une durée d'ouverture glottale plus importante mais avec une amplitude semblable à celle de sa correspondante simple.¹⁴ Pour notre part, nous partons de l'hypothèse suivante : si le degré de l'ouverture glottale est une fonction de la durée de cette ouverture, alors toute séquence de deux occlusives sourdes adjacentes produites avec la même durée d'ouverture glottale que la gémignée présentera approximativement la même amplitude. Pour tester cette hypothèse nous avons comparé les ajustements glottaux pendant la production de la simple /k/, la gémignée /kk/ et la séquence /kt/ du mot [ikti] 'il s'est rappelé'. Cette dernière forme a été répétée 5 fois et enregistrée lors de la même session que les données traitées ici. La séquence /kt/ est produite avec une durée d'ouverture glottale (232 ms, DS = 15) semblable à celle de la gémignée /kk/ (260 ms, DS = 41) et donc plus longue que la simple /k/. L'amplitude de l'ouverture glottale par contre est différente entre /kt/ et /kk/. Ce résultat, illustré par la figure 18, indique que l'amplitude de l'ouverture glottale n'est pas forcément corrélée avec la durée de l'ouverture glottale.

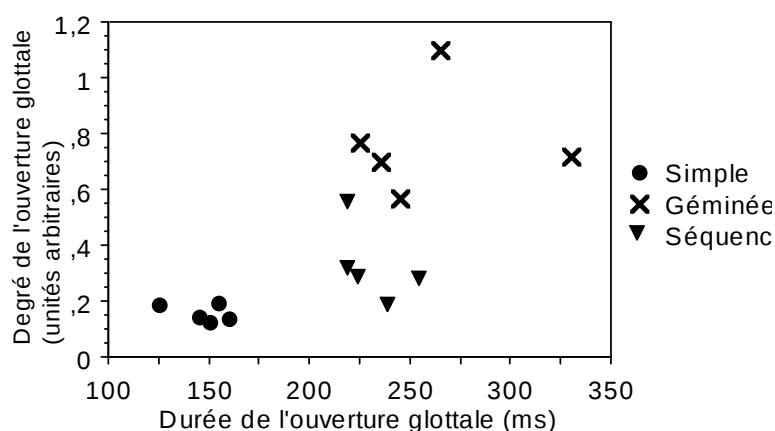


Figure 18. Illustration du rapport entre la durée et le degré maximal de l'ouverture glottale pour la simple /k/, la gémignée /kk/ et la séquence /kt/.

Aussi, si l'ouverture maximale de la glotte était corrélée avec la durée de cette ouverture, alors on devrait observer une différence d'amplitude glottale systématique entre fricatives simples et gémignées, sachant que ces dernières sont systématiquement produites avec une ouverture

¹⁴ Löfqvist & MacGarr (1987) ont aussi observé, pour les occlusives et les fricatives simples de l'anglais américain, une très faible corrélation entre l'amplitude et la durée de l'ouverture glottale (voir aussi Benguerel et al. (1978) pour le français).

glottale plus importante. Or ce n'est pas le cas, puisque des fricatives simples sont parfois produites avec une ouverture glottale plus importante. A l'évidence, l'amplitude de l'ouverture glottale n'est pas corrélée avec la durée de cette ouverture. A quoi donc peut-on l'attribuer ? Il semblerait que d'autres mécanismes d'ordre aérodynamique déterminent la largeur de cette ouverture. Nous avons signalé tout à l'heure que la largeur de la glotte produite lors de l'occlusion des géminées n'a aucune incidence sur le signal acoustique et n'est pas perceptible. Il est donc plausible de postuler que cette ouverture très large est une conséquence passive de l'augmentation de la pression intraorale nécessaire pour la production des occlusives géminées. Löfqvist et al. (1981 : 273) ont démontré que l'augmentation de la pression intraorale est intimement liée à la largeur de l'ouverture glottale : « Glottal opening [...] seemed to be controlled indirectly by varying expiratory effort, as evidenced by the close relationship between glottal opening and oral pressure. » Louali et Puech (1994) ont procédé à des mesures de la pression intraorale lors de la tenue des géminées occlusives sourdes en berbère et ont montré que ces dernières nécessitent effectivement une augmentation de la pression orale. Nous avons vu, concernant les fricatives, que les simples et les géminées ne présentent pas de différence systématique d'amplitude d'ouverture glottale. On peut attribuer cette absence de différence au fait que toute fricative, simple ou géminée, est produite avec une forte augmentation de la pression intraorale. Cette hypothèse nécessite à l'évidence un examen plus détaillé en partant notamment d'analyses aérodynamiques et en examinant plusieurs contextes et plusieurs locuteurs.

6.2. L'amplitude de l'ouverture glottale, le timing interarticulaire et le contrôle de l'aspiration

Comme nous l'avons souligné plus haut concernant les mécanismes du contrôle de l'aspiration, certains auteurs accordent une place prépondérante à l'amplitude de l'ouverture glottale comme facteur déterminant. Hutter (1985 : 15), par exemple, postule que : « The difference between aspirated and unaspirated stops in the timing of the explosion relative to the glottal gesture is primarily due to the different types of glottal gesture rather than to a different timing of the glottal and supraglottal articulations. »

D'autres auteurs, par contre, considèrent que l'aspiration est principalement une fonction du rapport temporel entre articulation glottale et supraglottale. Löfqvist, dont les travaux en la matière sont des références majeures, conclut ainsi que « Even if differences in peak glottal opening were a regular phenomenon in the production of different stop categories, it should be noted that, in the published studies, these size

differences always appear to be accompanied by timing differences [...]. Thus it appears to be unwarranted to claim that the size difference is more basic than the timing difference. » (Löfqvist 1980 : 485). Rappelons nos résultats à partir de l'analyse des occlusives simples et géminées dentales et vélaires. Les géminées et les simples sont produites avec deux gestes glottaux différents, l'amplitude de l'ouverture glottal pendant la tenue des géminées étant plus large. Malgré cette différence notable, les deux séries sont aussi aspirées l'une que l'autre. Le rapport temporel entre l'articulation glottale et les événements supraglottaux divergent aussi considérablement selon que le segment est simple ou géminé. Pendant la tenue des simples, l'ouverture maximale de la glotte est atteinte pratiquement au moment de la rupture de l'occlusion. Pour les géminées, par contre, l'ouverture maximale de la glotte est atteinte bien avant le relâchement. Malgré ces différences importantes, les deux séries d'occlusives sourdes présentent quasiment les mêmes durées d'aspiration. A l'évidence, ni l'amplitude d'ouverture glottale seule ni le rapport temporel seul ne peut rendre compte de l'aspiration en berbère. Autrement dit, ni l'explication fournie par Hutters ni celle de Löfqvist ne peut rendre adéquatement compte des mécanismes qui contrôlent l'aspiration des occlusives sourdes en berbère.

Kim (1970) dans son article « *A theory of aspiration* » propose une explication en terme de degré d'ouverture glottale au moment du relâchement. A la suite d'un examen cinéradiographique des trois types d'occlusives coréennes (non aspirée, légèrement aspirée, fortement aspirée), il remet en cause les définitions traditionnelles et plus particulièrement la « friction glottale » de Dixit et définit l'aspiration comme une fonction de l'amplitude de l'ouverture glottale au moment du relâchement de l'occlusive.

Cette définition semble la plus appropriée pour déterminer le mécanisme du contrôle de l'aspiration en berbère. En effet, malgré les différences notables entre simples et géminées (en terme d'amplitude ou de timing), une constante ressort des analyses de ces segments : le degré de l'ouverture glottale au moment du relâchement de la constriction paraît similaire pour les deux types d'occlusives. Cet aspect est illustré par la figure 19 qui superpose l'aire glottale d'une répétition d'une simple dentale /t/ à celle de sa contrepartie géminée /tt/. Comme le montre cette figure, les simples et les géminées ont une même durée d'aspiration car elles sont produites avec un même degré d'ouverture glottale au moment du relâchement.

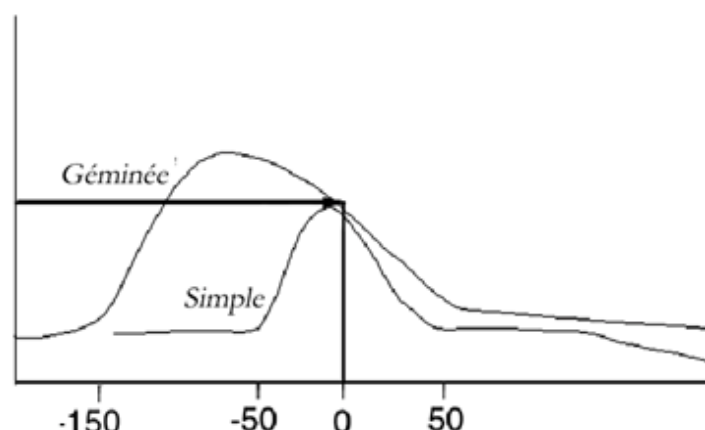


Figure 19. Illustration schématique de la durée et de l'amplitude de l'ouverture glottale pendant la tenue de /t/ et /tt/ dans les formes /itili/ et /ittili/ respectivement. La barre verticale indique l'onset du relâchement oral. La flèche indique le degré d'ouverture glottale au moment du relâchement.

La caractéristique des gémignées aspirées en berbère peut être mise en relation avec une autre caractéristique peu commune attestée dans cette langue : la présence des occlusives aspirées suivant des fricatives en position initiale (en fait approximativement la même durée que pour les gémignées ou pour la simple intervocaliques).¹⁵ Les travaux précédents - tels qu'ils ont été résumés par Löfqvist (1980) - suggèrent que typiquement, chaque fricative et chaque consonne aspirée correspond à un geste laryngé qui lui est propre. En berbère, cette généralisation peut être mise à l'épreuve puisque l'analyse des séquences de type /#sk/ ou /s#k/ montre clairement qu'il y a seulement un geste glottal (voir Ridouane et al. sous presse). De même que pour la gémignée /kk/, la séquence /#sk/, par exemple, est produite avec une amplitude d'ouverture glottale très large, de sorte qu'au moment du relâchement de la vélaire, la glotte atteint approximativement le même degré d'ouverture glottale que pendant la tenue de la vélaire simple /k/, d'où la même durée d'aspiration. Suivant Kim (1970), et à la lumière de ces différents résultats, on peut considérer l'aspiration principalement comme une fonction du degré d'ouverture glottale au moment du relâchement. Ainsi, une occlusive aspirée ayant un degré n d'aspiration doit posséder un degré n d'ouverture glottale au moment de la rupture de l'occlusion. Aucune occlusive ne sera donc aspirée si elle a une petite ouverture glottale au moment de l'explosion et une occlusive ne pourra pas être sans aspiration si elle a une grande ouverture glottale au moment de l'explosion. Si cette explication de l'aspiration est correcte, comme le

¹⁵ Cet aspect n'est pas nécessairement unique, mais n'est certainement pas la situation la plus courante dans les langues du monde. On retrouve par exemple des occlusives aspirées précédées de fricative dans certains dialectes de l'espagnol colombien ainsi que dans certaines langues indiennes (Pétursson 1976).

laisse penser nos résultats, elle peut fournir une piste intéressante pour répondre à la question soulevée dans la section (6.1.). Les occlusives géminées sourdes auraient une amplitude glottale plus importante de sorte qu'au moment du relâchement, la glotte soit toujours suffisamment ouverte pour permettre un degré d'aspiration comparable à celui des occlusives simples.

REMERCIEMENTS. Je tiens à remercier Klaus Dahlmeier, Cecile Fougeron, Susanne Fuchs, Phil Hoole, et Annie Rialland, pour leurs aides, commentaires et suggestions.

REFERENCES

Abercombie, D. (1967). *Elements of general phonetics*. Aldine, Chicago.

Baer, T., Löfqvist, A., & McGarr, N.S. (1983). Laryngeal vibrations: A comparison between high-speed filming and glottographic techniques. *Journal of the Acoustical Society of America* 73, 1304-1308

Benguerel, A.P., Hirose, H., Sawashima, M. & Ushijima, T. (1978). Laryngeal control in French stop production: a fiberscopic, acoustic and electromyographic study. *Folia phoniatrica* 30: 175-198.

Cooper, A.M. (1991). Laryngeal and oral gestures in English /p, t, k/. *Proceedings of the 12th International Congress of Phonetic Sciences* 2, 50-53.

Dixit, R.P. (1979). Aspiration: What is it and how is it produced? *Speech Communication Papers*, 83-88. Acoustical Society of America, New York. (Wolf & Klatt, ed.).

Dixit, R.P. (1989). Glottal gestures in Hindi plosives. *Journal of Phonetics* 17, 213-237.

Fant, G. (1973). Stops in CV syllables. In *Speech Sounds and Features*, 110-139. MIT Press, Cambridge, MA.

Fischer-Jørgensen, E. (1976). Some data on North German stops and affricates. *Annual Report of the Institute of Phonetics, University of Copenhagen* 10, 149-200.

Fischer-Jørgensen, E. & Hutter, B. (1981). Aspirated stop consonants before low vowels, a problem of delimitation – its causes and consequences. *Annual Report of the Institute of Phonetics, University of Copenhagen* 15, 77-102.

Fuchs, S. (2003). *Articulatory correlates of the voicing contrast in German alveolar obstruent production*. Ph.D. Dissertation, QMUC, Edinburgh.

Heffner, R.M.S. (1950). *General Phonetics*. University of Wisconsin Press, Madison.

Hoole, P., Pompino-Marschall, B. & Dames, M. (1984). Glottal timing in German voiceless occlusives. *Proceedings of the 10th International Congress of Phonetic Sciences*, 309-403. Van den Broecke & Cohen (eds.).

Hoole, P. (1999). Techniques for investigating laryngeal articulation. Section A: Investigation of the devoicing gesture. In *Coarticulation: Theory, data and techniques*, Hardcastle & Hewlett (ed.), 294-300. Cambridge: Cambridge University Press. http://www.phonetik.uni-muenchen.de/~hoole/pdf/larymeth_fipkm.pdf

Hutter, B. (1976). Problems in the use of the photoelectric-glottograph. *Annual Report of the Institute of Phonetics, University of Copenhagen* 10, 274-312.

Hutter, B. (1984). Vocal fold adjustments in Danish voiceless obstruent production. *Annual Report of the Institute of Phonetics, University of Copenhagen* 18, 293-385.

Hutter, B. (1985). Vocal fold adjustments in aspirated and unaspirated stops in Danish. *Phonetica* 42, 1-24.

Jessen, M. (1998). *Phonetics and phonology of tense and lax obstruents in German*. John Benjamins Publishing Company, Amsterdam/Philadelphia.

Jones, D. (1956). *An outline of English phonetics*. (8th ed.). Dutton, New York.

Kagaya, R. (1974). A fiberoptic and acoustic study of Korean stops, affricates and fricatives. *Journal of Phonetics* 2, 161-180.

Kim, C.W. (1970). A theory of aspiration. *Phonetica* 21, 107-116.

Ladefoged, P. & Maddieson, I. (1996). *The sounds of the world's languages*. Blackwell Publishers: Oxford.

Lisker, L. & Abramson, A.S. (1964). A cross-language study of voicing in initial stops: acoustic measurements. *Word* 20, 384-422.

Lisker, L. & Abramson, A.S. (1971). Distinctive features and laryngeal control. *Haskins Laboratories: Status Report on Speech Research* 27, 133-151.

Löfqvist, A. (1980). Interarticulator programming in stop production. *Journal of Phonetics* 8, 475-490.

Löfqvist, A. & Pétursson, M. (1978). Swedish and Icelandic stops - A glottographic investigation. *The Nordic Languages and Modern Linguistics* 3, 454-461. Weinstock (eds.), Austin: The University of Texas at Austin Press.

Löfqvist, A. & Yoshioka, H. (1980). Laryngeal activity in Swedish obstruent clusters. *Journal of the Acoustical Society of America* 68(3), 792-799.

Löfqvist, A., Baer, T. & Yoshioka, H. (1981). Scaling of glottal opening. *Phonetica* 38, 265-276.

Löfqvist, A. & McGarr, N. (1987). Laryngeal dynamics in voiceless consonant production. In *Laryngeal function in phonation and respiration*, Baer, Sasaki & Harris (ed.), 391-402. College-Hill Press, Boston.

Louali N. & Puech G. (1994). Les consonnes 'fortes' du berbère : indices perceptuels et corrélats phonétiques. *Actes des 20^e Journées d'Étude sur la Parole*, 459-464.

Malmberg, B. (1963). *Phonetics*. Dover, New York.

Munhall, K. Ostry, D. & Parush, A. (1985). Characteristics of velocity profiles of speech movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 11, 457-474.

Munhall, K., Löfqvist, A. & Kelso, J.A. (1994). Lip-larynx coordination in speech: effects of mechanical perturbations to the lower lip. *Journal of the Acoustical Society of America* 95, 3605-3616.

Ouakrim. O. (1993). *Fonética y fonología del Bereber*. Thèse de Doctorat, Universitat Autònoma de Barcelona.

Ouakrim, O. (1994). Un paramètre acoustique distinguant la gémination de la tension consonantique. *Études et Documents Berbères* 11, 197-203.

Pétursson, M. (1976). Aspiration et activité glottale. *Phonetica* 33, 169-98.

Ridouane, R. (2002). Words without vowels: Phonetic and phonological evidence from Tashlhiyt Berber. *ZAS Papers in Linguistics* 28, 93-110.

Ridouane, R. (2003). *Suites de consonnes en berbère : phonétique et phonologie*. Thèse de Doctorat Unifié, Université Paris 3.

Ridouane, R. (2004). Les mots sourds en berbère chleuh : analyses fibroscopiques et photoélectroglottographiques. *Actes des 24^e Journées d'Études sur la Parole*, 425-428. Fès, Maroc.

Ridouane, R., Fuchs, S. & Hoole, P. (2006). Laryngeal adjustments in the production of voiceless obstruent clusters in Berber. In *Speech Production: Models, Phonetic Processes, and Techniques*, Harrington & Tabain (ed.), pp. 249-267. Macquarie University: Sydney, Australia.

Sawashima, M. (1970). Glottal adjustments for English obstruents. *Haskins Laboratories: Status Report on Speech Research* SR-21/22, 186-200.

Sawashima, M. & Miyazaki, S. (1973). Glottal opening for Japanese voiceless consonants. *Annual Bulletin, Research Institute of Logopedics and Phoniatrics*, 7, 1-9. University of Tokyo.

Shinn, P.C. (1985). *A cross-language investigation of the stop, affricate and fricative manners of articulation*. Ph.D. Dissertation, Brown University.

Stevens, K.N. (1998). *Acoustic phonetics*. Cambridge MA, London.

Yoshioka, H., Löfqvist, A. & Hirose H. (1981). Laryngeal adjustments in the production of consonant clusters and geminates in American English. *Journal of the Acoustical Society of America* 70(6), 1615-1623.