HAL
open science

La gémination en tarifit : considérations phonologiques, étude acoustique et articulatoire

Fayssal Bouarourou

To cite this version:

Fayssal Bouarourou. La gémination en tarifit : considérations phonologiques, étude acoustique et articulatoire. Linguistique. Université de Strasbourg, 2014. Français. NNT : 2014STRAC016 . tel-01162892

HAL Id: tel-01162892

https://theses.hal.science/tel-01162892v1

Submitted on 11 Jun 2015

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.

Faculté des LETTRES
UR 1939 Linguistique, Langues et Parole-LiLPa
ER Parole et Cognition & Institut de Phonétique de Strasbourg (IPS)

THESE

Présentée pour l'obtention du doctorat de Sciences du Langage

Spécialité : Phonétique Générale et Expérimentale

par

Fayssal BOUAROUROU

soutenue le 08 décembre 2014

La gémination en tarifit : considérations phonologiques, étude acoustique et articulatoire

JURY

M. le Professeur Pascal PERRIER (Rapporteur)
Laboratoire Grenoble Images Parole Signal Automatique, Gipsa-Lab, Université de Grenoble

M. Shinji MAEDA, Directeur de Recherche au CNRS (Rapporteur)
Laboratoire de Phonétique et Phonologie - Sorbonne Nouvelle, Paris III

M. Yves LAPRIE, Directeur de Recherche au CNRS (Examinateur)
LORIA/ Groupe Parole, Nancy

Mme le Professeur Beatrice VAXELAIRE (Examinatrice)
IPS & U.R. 1339 LiLPa, ER Parole et Cognition, Université de Strasbourg

M. Rachid RIDOUANE, Chargé de Recherche au CNRS (Co-encadrant)
Laboratoire de Phonétique et Phonologie - Sorbonne Nouvelle, Paris III

M. le Professeur Rudolph SOCK (Directeur)
IPS & U.R. 1339 LiLPa, ER Parole et Cognition, Université de Strasbourg

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier mon directeur de thèse, M. le Professeur Rudolph Sock, de m'avoir initié à la phonétique à travers ses cours passionnants et de m'avoir apporté ses conseils. Il m'a transmis au fil des ans son savoir, ses connaissances. Travailler à ses côtés a été une véritable chance, cela a été très fructueux pour moi, ces années ont été extrêmement riches. Aussi, sa présence et son soutien au quotidien, sa bienveillance, m'ont été d'une aide inestimable. Je tiens ici à souligner les qualités humaines de cette personne exceptionnelle.

Je remercie aussi beaucoup mon co-directeur M. Rachid Ridouane, CR au CNRS, pour ses conseils, ses recommandations sur le plan phonétique et phonologique du berbère. Nos discussions scientifiques m'ont permis d'approfondir ce travail de thèse, particulièrement au niveau méthodologique et pour la littérature portant sur la linguistique berbère.

Je n'oublie pas de remercier également Mme le Professeur Béatrice Vaxelaire, Directrice de l'Institut de Phonétique de Strasbourg, qui m'a initié aux analyses cinéradiographiques et à la précision et rigueur que ces analyses requièrent. Je la remercie pour tous ses conseils, ses encouragements et surtout son sourire.

Je remercie vivement les membres du jury, qui ont accepté d'évaluer mon travail.

Un grand merci aux rapporteurs, M. le Professeur Pascal Perrier et M. Shinji Maeda, DR au CNRS, pour le temps qu'ils ont consacré à la lecture et l'évaluation de ce travail.

Un grand merci également à M. Yves Laprie, DR au CNRS, pour cette collaboration fructueuse et ses conseils d'analyses des données cinéradiographiques avec le logiciel X-articule. Merci pour les nombreuses heures qu'il a réservées à ma formation.

Merci à mes locuteurs : Khalifa, Hind, Sarah, Yassin et Karim. Ils n'ont pas compté les heures d'enregistrement, malgré la difficulté de cette tâche.

Je remercie Aline et Saïd pour le travail technique. L'aide et le soutien de ces deux personnes, chères à mes yeux, ont été particulièrement précieux.

Merci à Saïd, son amitié m'a aidé à traverser les moments difficiles tout au long de ces années de recherche.

Un merci spécifique à Aline, qui a été présente en tout temps et a su me faire avancer. Sa présence à mes côté a été essentielle pour l'aboutissement de ce travail de thèse.

Je remercie mes relecteurs : Marion Béchet, Fabrice Hirsch, Fabrice Marsac, Cécile Merckel, Camille Fauth, Dominique Hamm, Nourdine Combo, Fatima Rami, et Elodie Lang.

Merci,

A tous mes collègues de l'Institut de Phonétique de Strasbourg : Said, Obama, Hasna, Xuelu, Saoussan, Lucie, Marion, Cyril, Thomas, Camille, Ming, Nadjia, Fatima, Insaf, Dominique, Tomoki, Célistine, Soucila, Amel, Naïma, Mélanie et Nabu.

A mes collègues de LILPA : Angelina, Anna, Elodie, Constance, Julien …

A ma famille, qui bien qu'éloignée physiquement, a toujours su être là pour moi, et a toujours cru en moi et dont le soutien est inconditionnel. Aux membres de ma famille présents à Strasbourg.

A mes amis de pasta : Mohamed, Rachid, Boussif, Baghdad et Mounir. Et les autres...

Table des matières

1 Le berbère : présentation générale 12
1.1 Le berbère au Maroc 12
1.1.1 Les différentes variétés du berbère 13
1.1.2 Spécificités phonologiques du berbère 14
1.2 Tarifit : le système phonologique 16
1.2.1 Les labiales 16
1.2.2 Les dentales 17
1.2.3 Les alvéolaires 18
1.2.4 Les palato-alvéolaires 18
1.2.5 Les nasales 18
1.2.6 Les liquides 18
1.2.7 Les affriquées 19
1.2.8 Les vélaires 19
1.2.9 Les uvulaires 20
1.2.10 Les pharyngales 20
1.2.11 La laryngale 21
1.2.12 Les semi-consonnes 21
1.2.13 Les emphatiques 21
1.2.14 Les labialisées 22
1.2.15 Le système vocalique du tarifit : 22
1.2.16 L'influence de l'emphase sur la qualité des voyelles adjacentes : 23
1.2.17 L'amuïssement de la liquide /r/ 24
1.2.18 La gémination : quelques remarques préliminaires 26
1.2.19 Les fonctions lexicales, morphologiques et phonologiques de la gémination ... 27
2 Gémination : représentation, comportement et implémentation phonétique 30
2.1 Quelle représentation pour les géminées ? 30
2.1.1 S'agit-il d'un seul segment ou d'une suite de deux segments ? 30
2.1.2 Longueur ou tension ? 32
2.1.3 Représentation X-slot ou représentation moraïque 35
2.1.4 La question des géminées initiales et finales 38
2.2 comportements pour les géminées ? 40
2.2.1 L'ambivalence 42
2.2.2 Intégrité : 46
2.2.3 L'inaltérabilité des géminées 48
3 Dimension typologique de la gémination 58
3.1 Analyses perceptives et acoustiques 58
3.2 Analyses articulatoires 64
3.3 Les consonnes géminées en vitesses d'élocution normale et rapide 73
4 Les grands courants théoriques en phonétique 78
4.1 La Théorie Motrice de la Perception 78
4.2 La Théorie Quantique de Stevens (1985 ; 1989 ; 1991 ; 2002 ; 2005) 79
4.3 La Théorie de la Variabilité Adaptative de Lindblom (1987 ; 1990) 83
4.4 Le modèle de la dynamique des tâches -The Task Dynamics Model (Saltzman *et al.*, 1987) 87
5 Théories et modèles qui intègrent la variabilité dans leur conception 92
5.1 Le Modèle statistique (Maeda, 1990) 92

5.2 Le Modèle de Laprie : construction et évaluation d'un modèle articulatoire du conduit vocal 94
5.3 Le modèle biomécanique de production de la parole selon l'hypothèse du Point d'Équilibre 95
5.4 Phonologie articulatoire 99
5.4.1 Geste articulatoire : propriétés 100
5.4.2 Geste articulatoire et notion d'oppositions phonologiques 102
5.4.3 La Théorie de la Viabilité en production-perception de la parole 103
5.4.4 Notions et concepts 104
5.5 Notions et outils pour l'analyse de la gémination 107
5.5.1 Généralités sur la vitesse d'élocution 107
5.5.2 La vitesse d'élocution : un perturbateur naturel par excellence 108
5.5.3 VOT : « Voice Onset Time » 110
5.5.4 VTT : « Voice Termination Time » 112
6 Etude acoustique 116
6.1 Corpus 116
6.2 Les sujets 118
6.3 Enregistrements 118
6.4 Mesures et analyses acoustiques 118
6.5 L'analyse statistique. 121
7 La radiocinématographie, acquisition et traitements des radiofilms 123
7.1 Description de l'appareillage et d'une séance d'enregistrement 124
7.2 Extraction des contours, tracés radiologiques, méthodes manuelles, semi-automatiques et automatiques 128
8 Etude des paramètres temporels : durées absolues 140
8.1 Les occlusives sourdes 146
8.1.1 Les occlusives sourdes en position intervocalique 146
8.1.2 Les occlusives sourdes en position initiale 151
8.1.3 Les occlusives sourdes en position finale 154
8.2 Les occlusives sonores 158
8.2.1 Les occlusives sonores en position intervocalique 158
8.2.2 Les occlusives sonores en position initiale 162
8.2.3 Les occlusives sonores en position finale 165
8.3 Les constrictives sourdes 168
8.3.1 Les constrictives sourdes en position intervocalique 168
8.3.1 Les constrictives sourdes en position initiale 170
8.3.2 Les constrictives sourdes en position finale 171
8.4 Les constrictives sonores 173
8.4.1 Les constrictives sonores en position intervocalique 173
8.4.2 Les constrictives sonores en position initiale 175
8.4.3 Les constrictives sonores en position finale 176
9 Le contrôle spatiotemporel de la gémination 180
10 Gestes du larynx et de l'os hyoïde 224
11 L'étendue de contact : un paramètre pertinent pour l'étude de la gémination ? 239
12 Paramètres articulatoires et/ou articulatori-acoustiques 251
13 Synthèse Générale et discussion 257

14 Conclusions et perspectives… 265
15 Bibliographie 271
16 Index des figures 299
17 Index des tableaux 311
18 Annexe 1 315
19 Annexe 2 355
20 Annexe 3 368
21 Annexe 4 419

Introduction

L'objectif de notre travail est d'étudier le phénomène phonologique de la gémination en berbère du tarifit parlé au Maroc, dans la province de Nador.

L'étude repose sur des investigations acoustiques et articulatoires, menées principalement dans le domaine temporel. Il s'agit essentiellement d'identifier des indices acoustiques et articulatoires potentiels qui pourraient sous-tendre ce trait phonologique de la gémination.

Ces investigations seront précédées de considérations phonologiques sur le statut de la gémination, non seulement dans certaines variantes du berbère attestées dans la littérature, mais aussi dans certaines langues qui connaissent ce trait phonologique.

Quelques hypothèses seront formulées, aussi bien dans le domaine acoustique que dans le domaine articulatoire. De manière générale, nous pensons que l'analyse du substrat physique, articulatoire et acoustique, devrait nous permettre de mettre au jour des indices articulatoires et acoustiques qui sont sous-jacents au trait phonologique. La gémination étant principalement un phénomène temporel, ces indices devraient être plus remarquables au niveau du contrôle temporel des gestes articulatoires et de leurs conséquences acoustiques.

Une *première originalité* du travail réside dans le fait qu'il combine données acoustiques et données articulatoires cinéradiographiques. En effet, des investigations dans le domaine de la production de la parole, reposant sur l'analyse de données cinéradiographiques, sont relativement rares. Or, les données cinéradiographiques sont d'une grande utilité. Ce sont les seules à offrir actuellement, en même temps, une résolution spatio-temporelle correcte sur l'ensemble du conduit vocal dans le plan sagittal. Elles sont à la base de l'élaboration de modèles géométriques (Maeda, 1988 ; Berger,1996), et sont d'une grande utilité pour l'étude de la coordination spatio-temporelle des articulateurs de la parole (Wood, 1991 ; Vaxelaire, 1999), ainsi que pour l'étude de l'inversion (Laprie *et al*., 2003). L'exploitation de données cinéradiographiques peuvent aussi servir à valider des modèles biomécaniques (Perrier *et al*., 2011).

Une *seconde originalité* de ce travail tient au fait que la gémination est étudiée dans le cadre du paradigme de la variation de la vitesse d'élocution. La *variation de la vitesse d'élocution* est retenue comme *moyen naturel* de *perturbation* du système de production de la parole. Elle devrait nous permettre de repérer ces patrons spatio-temporels résistants et phonologiquement pertinents des gestes des articulateurs, lors de la réalisation de la gémination. Elle devrait aussi offrir la possibilité d'évaluer le degré de *flexibilité* du système

de production de la parole, en dévoilant les réaménagements ou les *réajustements* possibles aux niveaux intra-articulateur et inter-articulateur. Cela reviendra à analyser les différentes stratégies cognitivo-motrices utilisées par nos sujets pour maintenir la distinctivité des catégories phonologiques de la gémination, dans cette condition « difficile » de la vitesse d'élocution rapide, en mettant en jeu de potentiels phénomènes de *compensation* (Sock & Vaxelaire, 2004 ; Vaxelaire, 2006).

La thèse parcourt certaines théories qui prônent l'invariance en production-perception de la parole, posant qu'il existerait un invariant physique en parole qui serait de nature articulatoire (précisément gestuel) avec une prise en compte des dynamiques des mouvements articulatoires. Nous verrons aussi que d'autres théories soutiennent le fait que l'invariance soit d'ordre acoustico-auditive, ou mettent en avant, au contraire, les variations possibles en production de parole, c'est-à-dire que le locuteur possèderait la capacité à adapter la production de la parole à la situation de communication.

Nos résultats seront discutés brièvement dans le cadre de ces approches théoriques, même si nous préférerons rationaliser nos données en termes de relations articulatori-acoustiques. C'est dans cette perspective articulatori-acoustique que nous ferons quelques propositions pour le traitement du phénomène phonologique de la gémination en tarifit.

Organisation de la thèse

Notre étude s'articule en trois parties. Dans la première partie, nous présentons l'état de la question sous forme de cinq chapitres. Dans le premier chapitre, nous abordons le système phonologique du tarifit (berbère). Le chapitre deux traite de la gémination et ses considérations phonologiques, à savoir les différentes représentations et comportements des géminées. Le troisième chapitre porte sur la dimension typologique de la gémination et comporte des analyses perceptives, acoustiques et articulatoires. Le quatrième présente les théories phonétiques majeures de la perception et la production de la parole. Dans le chapitre cinq, nous exposons les théories et modèles intégrant la variabilité de la parole dans leur conception : 1) le modèle statistique (Maeda, 1990) ; 2) le modèle de Laprie & Busset (2011), 3) le modèle biomécanique de production de la parole selon l'hypothèse du point d'Équilibre (Perrier *et al.,* 1996) ; 4) le modèle de la phonologie articulatoire de Browman & Goldstein (1986). Nous introduisons également dans ce chapitre quelques notions et outils nécessaires à l'analyse de la gémination.

La deuxième partie est consacrée au protocole expérimental et à l'étude acoustique de la gémination. Elle est composée de trois chapitres. Le chapitre six expose le protocole expérimental avec le corpus, les sujets, les enregistrements, les mesures et les analyses acoustiques de la gémination. Le chapitre sept présente la méthode d'acquisition et de traitement des films cinéradiographiques. Nous consacrons le chapitre huit à l'étude des paramètres temporels des durées absolues.

La dernière partie est dédiée à l'étude articulatoire de la gémination. Le chapitre neuf présente le contrôle spatiotemporel de la gémination en étudiant différents paramètres, tels que l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, et ce dans les trois positions : intervocalique, initiale et finale (non-absolues). Dans le chapitre dix, nous étudions les gestes du larynx et de l'os hyoïde dans les trois positions indiquées *supra*. Dans le chapitre onze, nous effectuons la comparaison de l'étendue de contact des consonnes simples et des consonnes géminées. Et enfin, les relations entre les paramètres articulatori-acoustiques sont traitées dans le chapitre douze.

Nous proposons, tout au long de la thèse, des résumés et des bilans partiels afin de faciliter la lecture et la compréhension du travail.

PARTIE 1

État de la question

1 Le berbère : présentation générale

La langue berbère ou tamazight est, à l'heure actuelle, présente dans une dizaine de pays du Maghreb-Sahara-Sahel : Maroc, Algérie, Tunisie, Libye, Égypte, Niger, Mali, Burkina-Faso et Mauritanie. Mais l'Algérie et le Maroc sont de loin les deux pays qui comptent les populations berbérophones les plus importantes. Signe fort de l'identité berbère face à l'arabisation, la langue berbère est riche d'une tradition orale qui a su intégrer les médias modernes. De plus, la renaissance volontariste de l'alphabet traditionnel, les tifinaghs, a permis de suppléer à la mémoire collective, de traduire les œuvres majeures du patrimoine mondial et de développer une littérature berbère qui répond à une forte demande.

Selon Chaker (1992), l'évaluation du nombre de berbérophones est une question difficile et controversée, car il n'existe pas de recensements linguistiques systématiques et fiables dans les pays concernés. De plus, la situation générale (objective, institutionnelle et idéologique de la langue berbère) rend problématique toute évaluation. En fait, le nombre de berbérophones constitue en lui-même un enjeu politique important dans les pays du Maghreb. Il a donc toujours fait l'objet de vives polémiques et d'estimations très divergentes. Pourtant, si l'on soumet à la critique l'ensemble des chiffres avancés par les diverses sources, des débuts de la présence coloniale française jusqu'à nos jours, on peut raisonnablement estimer les berbérophones à :

- un pourcentage d'environ 40 % de la population au Maroc, soit 12 à 13 millions de berbérophones sur une population globale de 32 millions ;
- un pourcentage d'environ 25 % de la population en Algérie, soit entre 7 et 8 millions de locuteurs sur un total de 31 ou 32 millions d'habitants.

1.1 Le berbère au Maroc

Au Maroc, la berbérophonie est répartie en trois grandes zones dialectales, qui couvrent l'ensemble des régions montagneuses :

- le *tarifit*, le parler du Rif, la zone Nord et Nord-Est du Maroc,
- le *tamazight*, le parler de la zone Centre et Sud-Est du Maroc,
- le *tachelhit*, le parler de la zone Sud et Sud-Ouest du Maroc.

Le Rif est une région de 2 500 000 habitants. Les plus grandes villes rifaines sont Nador, Alhoceima, Berkane, Driouch et Melilla. Dans ce travail, nous nous focalisons sur le tarifit parlé dans la province de Nador, et plus précisément sur le parler des Iqerâayen (la ville de Nador et ses alentours).

La province de Nador est d'une superficie de 3 263 km^2 et de 788 221 habitants (selon l'office de tourisme de Nador en 2010). Cette province est située au nord-est du Maroc, dans la région montagneuse du Rif. Elle est limitée :

- au nord, par la mer Méditerranée ;
- à l'est, par la province de Berkane ;
- au sud, par les provinces de Taourirt et de Guercif (région de Taza-Al Hoceïma-Taounate) ;
- à l'ouest, par la province de Driouch.

Selon Cadi (1987, p. 9), *« l'unité spatiale de territoire des Iqerâayyen est une conséquence historique due au phénomène de l'alliance entre cinq tribus : At-sidar, At-chichar, At-bouyehyi, At-bouyafar, et Imezzoujen. Ces cinq tribus ont donné la confédération Iqerâayyen. Ce territoire fait partie de ce qu'il est convenu d'appeler le Rif oriental et constitue une zone frontière entre le Haut-Rif central et le Maroc oriental. C'est un espace essentiellement montagneux délimité au nord par la méditerranée, au sud par At-bouyehyi, à l'est par Ichebdanen et Oulad-Settout, à l'ouest par At-sâid et une partie des Ibdarsen. »*

Toujours selon Cadi (1987), le parler des Iqerâayyen est l'un des parlers qui constituent le dialecte rifain (au sens large), dont les isoglosses sont encore mal définies. Ce problème a été abordé depuis longtemps dans les travaux de Laoust (1927, p. 137) : *« Ce que l'on connaît mal c'est son aire d'extension, plus difficile encore à délimiter que les frontières linguistiques de tout autre groupe marocain ».*

Les tribus de l'est et du sud-est (At-bouyehyi, Oulad-settout, Ibdarsen et Ichebdanen) ont des caractéristiques phonétiques et lexicales spécifiques, qui les rattachent au parler des Beni-Iznassen.

À l'ouest, les tribus limitrophes (particulièrement At-sâid et At-touzine) ne représentent pas de différence notoire avec le groupe. Cadi (1987, pp. 9–10) affirme qu'*« au fur et à mesure qu'on avance vers l'Ouest (tribus de Temsamane, Ibeqqouyen et At-ouriagher) et le sud-ouest (At-ourichcht, et At-âmmar), des différences phonétiques et lexicales se font sentir, sans jamais compliquer sérieusement la communication».*

1.1.1 Les différentes variétés du berbère

Le berbère est l'une des branches de la grande famille linguistique chamito-sémitique[1], qui comprend, outre le berbère : le sémitique, le couchitique, l'égyptien (ancien) et, avec un

[1] Chamito-sémitique ou afro-asiatique, selon la terminologie américaine initiée par Greenberg (1963).

degré de parenté plus éloigné, le groupe « tchadique ». Le berbère peut être considéré comme la langue « autochtone » de l'Afrique du Nord, et il n'existe actuellement pas de trace positive d'une origine extérieure ou de la présence d'un substrat pré-berbère dans cette région. Aussi loin que l'on puisse remonter, le berbère est déjà installé dans son territoire actuel. La toponymie, notamment, n'a pas permis jusqu'ici d'identifier un quelconque sédiment pré-berbère.

1.1.2 Spécificités phonologiques du berbère

Selon Chaker (1984, p. 78), le système phonologique fondamental du berbère a été étudié depuis longtemps par Basset (1946, 1952), Galand (1960) et Prasse (1972). La comparaison inter-dialectale permet de considérer ce système primitif comme étant commun à tous les systèmes dialectaux particuliers attestés. Les systèmes phonologiques effectifs peuvent être beaucoup plus riches et divers. En plus des phonèmes empruntés à l'arabe (principalement les consonnes pharyngales et certaines emphatiques), et de la tendance à la spirantisation, les phénomènes de palatalisation et de labio-vélarisation, plus ou moins étendus, contribuent à donner à chaque parler une identité phonétique voire phonologique particulière. Ce système fondamental « berbère » s'organise autour de quelques grandes corrélations : la gémination, la pharyngalisation, la labialisation, le mode d'articulation, le voisement et la nasalité.

Une opposition de gémination (simple/géminée) traverse tout le système, et ce pour toutes les variétés du berbère. Tout phonème berbère a un correspondant géminé, caractérisé par une énergie articulatoire plus forte et, souvent, une durée plus longue. Notons cependant qu'à notre connaissance, la notion d'énergie articulatoire plus forte n'a pas toujours été démontrée de manière expérimentale. Galand (1953) considère cette opposition comme une corrélation de tension. Cette corrélation demeure partout la véritable « colonne vertébrale » du système consonantique des dialectes berbères, même là où les occlusives simples ont tendance à connaître un affaiblissement de leur mode d'articulation.

Une discussion sur la nature des géminées, plutôt longues ou plutôt tendues, segments uniques ou suites de deux segments, anime le monde linguistique berbère. Il s'agit d'un problème théorique fondamental auquel le berbère apporte un éclairage supplémentaire, puisque la gémination est un problème central de sa phonologie. Nous reviendrons sur cette question dans le chapitre 0.

La pharyngalisation ou l'emphase, marquée conventionnellement par le signe API en exposant /ˤ/, se définit au niveau articulatoire comme la surimposition d'une articulation

secondaire à une articulation primaire. L'articulation secondaire est considérée comme la rétraction de la racine de la langue qui entraîne ainsi la constriction de la cavité pharyngale. Le trait de pharyngalisation est phonologiquement associé aux consonnes coronales. Pour Berkat-Defradas & Embarki (2009, p. 22), la pharyngalisation ne concerne que les consonnes coronales, autant en berbère qu'en arabe. En effet, il semble que des consonnes pharyngalisées palatales ou vélaires soient irréalisables, puisque le dos de la langue qui doit se rapprocher du palais pour ces deux articulations devrait en même temps être abaissé pour l'articulation pharyngalisée. Toutefois, les consonnes labiales peuvent apparaître pharyngalisées, de même que les post-alvéolaires, autant en berbère qu'en arabe. Ces dernières n'accèdent généralement pas au statut de phonème.

Le mode articulatoire oppose les constrictives aux occlusives, c'est sans doute sur ce point que le berbère présente les évolutions et les divergences les plus importantes. Tous les dialectes de la bande méditerranéenne du Maghreb (Aurès, Kabylie, Algérie centrale et occidentale, Rif, la majeure partie du Maroc central, *etc.*) connaissent, à des degrés divers, une forte tendance à la spirantisation des occlusives : /b, t, d, $d^ˤ$, k, g/ deviennent respectivement [β, θ, ð, $ð^ˤ$, ʃ, ʒ]. Dans de nombreux dialectes (Aurès, Algérie centrale, Maroc central, Mzab, Rif), le phénomène va encore plus loin : la fricative [θ] peut aboutir à la fricative laryngale [h] ou disparaître totalement (Aurès). Dans ce cas, en tarifit, [θ] et [h] sont des variantes libres de /t/ et les fricatives palatales [ç] et [ɣ] finissent souvent en fricatives post-alvéolaires [ʃ] et [ʒ], ou en semi-consonne palatale [j]. Les mêmes lexèmes peuvent donc se rencontrer sous trois ou quatre formes différentes :

(1) /akal/ > [açal] > [aʃal] = « terre »

en tarifit : [çær] ou [ʃær]

(2) /tamtt^{ˤ}ut/ > [θamtt^{ˤ}uθ] > [hamtt^{ˤ}uθ] > [amtt^{ˤ}uθ] = « femme »

en tarifit : [θamtt^{ˤ}uθ] ou [hamtt^{ˤ}uh]

(3) /argaz / > [arɣaz] > [arʒaz] > [arjaz] = « homme »

en tarifit : [arɣaz] ou [arjaz]

Au Maroc, on distingue trois grandes variétés du berbère parlées par environ 40% de la population. Les variétés en question sont :

- le tarifit, parlé dans le Nord et Nord-Est du Maroc ;
- le tamazight, parlé dans la zone Centre et Sud-Est du Maroc ;
- le tachelhit, parlé dans la zone Sud et Sud-Ouest du Maroc.

Le berbère se distingue par ses spécificités phonologiques, notamment par la gémination, la pharyngalisation, la labialisation et la spirantisation des occlusives.

Ce travail se focalise sur le parler du tarifit de la province de Nador afin d'étudier la gémination dans cette variante.

1.2 Tarifit : le système phonologique

Dans cette section, nous dressons l'inventaire des sons qui se rencontrent dans les divers parlers du tarifit. Les sons que nous allons inventorier ne se réalisent pas tous dans la performance de tous les locuteurs. Il s'agit d'un inventaire consonantique englobant toutes les consonnes des parlers du tarifit en comparaison avec quelques autres variantes du berbère. En analysant de près ce système global, nous constaterons que la divergence concerne principalement l'opposition entre occlusives et constrictives, qui caractérise les parlers dits *constrictifs* en les opposant aux parlers dits *occlusifs*. Pour une meilleure clarté, nous présentons la liste de tous les phonèmes avec des exemples.

1.2.1 Les labiales

La bilabiale fricative /β/, la géminée /bb/ et les labiodentales /f/ et /ff/ sont attestées en tarifit.

(4) aβrid « chemin »
(5) aqəbbar « couvercle »
(6) fus « main »
(7) iffus « à droit »

L'usage de la bilabiale sourde /p/ est limité à des mots empruntés.

(8) aplatu « le plateau »

La labiodentale sonore /v/ n'existe pas en tarifit. Elle est remplacée par [β] quand il s'agit d'un /v/ dans un mot emprunté.

(9) ttiliβizjun « télévision »

Il est à noter que la bilabiale occlusive simple /b/ n'existe pas en tarifit. Elle est toujours constrictive /β/ quand il s'agit d'une simple, et occlusive quand il s'agit d'une géminée /bb/. C'est le cas lors du passage de l'aoriste à l'inaccompli.

	aoriste	inaccompli	
(10)	rβəz	rəbbəz	« écraser »

1.2.2 Les dentales

Les occlusives dentales non pharyngalisées du tarifit /t/ et /d/ sont réalisées comme des spirantes, sauf dans quelques environnements, entre autres quand elles sont géminées /tt/ et /dd/.

(11)	atun	« le thon »
(12)	adaʂəʀ	« je viens »
(13)	ittu	« il a oublié »
(14)	swaddaj	« en bas »

Remarque : les consonnes /t/ et /d/ en tarifit restent des occlusives dentales devant les nasales coronales comme dans les mots /ndəh/ « conduire », /ndu/ « battre le lait », /nti/ « enfouir dans la terre ». Mais elles sont spirantisées, *i.e.* réalisées /θ/ et /ð/ dans d'autres contextes. Ces spirantes[2] /θ/et /ð/ deviennent occlusives quand il s'agit des géminées /tt/ et /dd/ :

	aoriste	inaccompli	
(15)	fθər	fəttər	« rouler »
(16)	ðər	ddar	« couvrir »

Les occlusives dentales pharyngalisées du tarifit sont les coronales /tˤ/et /dˤ/ : la consonne /dˤ/ se réalise comme une spirante interdentale /ðˤ/, sauf devant les nasales coronales.

(17)	ðˤu	« voler »
(18)	θitˤ	« œil »
(19)	ndˤər	« enterrer »
(20)	attˤas	« beaucoup »

[2] Pour plus de détail voir la partie sur la spirantisation (section 2.2.3)

Notons que le /ddˤ/ n'existe pas en tarifit, et que la contrepartie géminée de /dˤ/ correspond à /ttˤ/.

	aoriste	inaccompli	
(21)	ndˤər	nəttˤər	« enterrer »

La contrepartie géminée de *l'interdentale pharyngalisée* /ðˤ/ devient occlusive et non voisée /ttˤ/.

	aoriste	inaccompli	
(22)	ðˤu	ttˤaw	« voler »

1.2.3 Les alvéolaires

Les simples /s/ et /z/ et leurs correspondantes géminées /ss/ et /zz/ :

(23)	asam	« jalousie »
(24)	assam	« l'éclaire »
(25)	θazarθ	« figues »
(26)	θazzarθ	« fourche »

1.2.4 Les palato-alvéolaires

/ʃ/ et /ʒ/ et leurs correspondantes géminées :

(27)	maʃa	conjonction « mais »
(28)	maʃʃa	« nourriture »
(29)	amʒar	« faucille »
(30)	aməʒʒun	« oreille »

1.2.5 Les nasales

/n/ et /m/ et leurs homologues géminées /nn/ et /mm/ :

(31)	anu	« puis »
(32)	asənnan	« épine »
(33)	aman	« eau »
(34)	asəmmam	« acide »

1.2.6 Les liquides

Les latérales /l/ et /ll/ et les non-latérales /r/ et /rr/ :

(35)	walu	« rien »

(36) llajmun « citron »

(37) arifi « rifain »

(38) arraw « descendants »

En tarifit, à l'exception des parlers des tribus de l'est et du sud-est, la consonne latérale simple /l/ se réalise comme une non-latérale /r/ dans toutes les positions, lorsqu'il s'agit du /l/ emprunté à l'arabe. Selon Cadi (1987, p. 24), « le changement phonétique de /l/ arabe en [r] rifain est opératoire pour la quasi-totalité des termes empruntés ».

Parlers des tribus de l'est et du sud-est :

(39) => /ləhna/ « paix » et /lmal/ « bétail »

Parlers du reste du Rif oriental :

(40) => /rəhna/ « paix » et /rmar/ « bétail ».

En ce qui concerne la géminée /ll/, elle se transforme en affriquée sonore géminée /ddʒ/ (à l'exception des parlers des tribus de l'est et du sud-est).

Parlers des tribus de l'est et du sud-est :

(41) => /lluzəʀ/ « j'ai faim » et /alli/ « cervelle »

Parlers du reste du Rif oriental :

(42) => /ddʒuzəʀ/ « j'ai faim » et /addʒi/ « cervelle »

1.2.7 Les affriquées

Les affriquées /tʃ/ et /dʒ/ sont des variantes libres en tarifit de/ʃʃ/ et /ʒʒ/ respectivement :

(43) [itʃa] ou [iʃʃa] = il a mangé

(44) [idʒa] ou [iʒʒa] = il a laissé

1.2.8 Les vélaires

Les vélaires sont /k/, /g/, /kk/, /gg/ et /ŋŋ/ :

(45) akəð « avec »

(46) kkar « se lever »

(47) agra « propriété »

(48) igga « il a fait »

(49) iŋŋ^{w}a « il est cuit »

En tarifit, la production de la consonne vélaire nasale géminée est labialisée /ŋŋʷ/. C'est probablement le résultat de la labio-vélarisation de la consonne /n/, comme dans le verbe /ŋŋʷ/ « cuire » en kabyle /bbʷ/ « cuire ». [ŋŋ] est issue d'une assimilation de la consonne /n/ lorsqu'il s'agit de la préposition *« de »* devant les voyelles /i/, /u/ et la semi-consonne /w/, elle a tendance à se labialiser [ŋŋʷ] devant la voyelle /a/, comme dans les exemples suivants :

(50)	n wa	=>	ŋŋwa	« de celui-là »
(51)	n ina	=>	ŋŋina	« de ceux-là »
(52)	n uzzar	=>	ŋŋuzzar	« du fer »
(53)	n arjaz	=>	ŋŋʷarjaz	« d'homme »

Il reste un point important à signaler : la préposition *« n »* provoque la gémination lorsque la consonne qui suit *« n »* est non coronale. Il s'agit des géminées issues d'une assimilation complète :

(54)	/n farid/ ==> [ffarid]	« de Farid »,
(55)	/n karim/ ==> [kkarim]	« de Karim »

1.2.9 Les uvulaires

/χ/, /ʀ/, /q/ et leurs homologues géminées /χχ/, /ʀʀ/ et /qq/ :

(56)	rχəðməθ	« travail »
(57)	Aχχam	« chambre »
(58)	aʀrum	« pain »
(59)	aqraβ	« sac »
(60)	aqqaθ	« le voici »

Commentaire : la géminée /ʀʀ/ est très rare en tarifit. Elle existe dans les mots comme :

(61)	iʀʀəð	« cendre »
(62)	amarʀiʀʀəð	« couleur cendrée »
(63)	θaʀʀarʃt	« canne »

1.2.10 Les pharyngales

Les pharyngales présentes en tarifit sont /ʕ/ et /ħ/ :

(64)	aʕruar	« dos »
(65)	iħma	« il est chaud »

Leurs correspondantes géminées sont marginalement attestées. Elles ne semblent être attestées que dans les emprunts à l'arabe et dans certaines formes d'interjections.

1.2.11 La laryngale

La laryngale /h/ est attestée dans tous les parlers :

(66) hwa «descendre »

(67) /hh/ géminée est marginalement attestée.

1.2.12 Les semi-consonnes

Les semi-consonnes présentes en tarifit sont /j/ et /w/ et leurs homologues géminées /jj/ et /ww/ :

(68) ajarziz « lièvre »

(69) ajjaw « petit-fils »

(70) iwðan « les Hommes »

(71) θawwarθ « la porte »

1.2.13 Les emphatiques

Le tarifit possède les emphatiques /tˤ/, /dˤ/, /ðˤ/, /sˤ/ et /zˤ/ :

(72) attas « elle viendra »

(73) attˤas « beaucoup »

(74) ndu « battre le lait »

(75) ndˤu « sauter »

(76) βða « commencer »

(77) βðˤa « partager »

(78) izi « mouche»

(79) izˤi « bile »

L'emphatique /sˤ/ et les emphatisées /lˤ/ et /rˤ/ sont attestées surtout dans les formes empruntées à l'arabe :

(80) /ssˤif/ « été »

(81) /ssif/ « épée »

(82) [ullˤah] « par Dieu »

(83) [arˤəbbi] « Dieu »

L'emphase ne se limite pas à la consonne emphatique sous-jacente, mais s'étend aux sons voisins. Tout son apparaissant au voisinage d'une emphatique peut être emphatisé :

(84) /azˤru / ==> [aˤzˤrˤuˤ] « la pierre »

(85) /izˤi/ ==> [iˤzˤiˤ] « la bile »

1.2.14 Les labialisées

Les labialisées attestées dans le tarifit sont les labio-vélaires /gg^{w}/ et /kk^{w}/ et les labio-uvulaire /qq^{w}/ :

(86)	ikka:r	« il s'est levé »
(87)	ikk^{w}a:r	« il a insulté »
(88)	iqqa:r	« il lit »
(89)	iqq^{w}a:r	« il est épais »
(90)	itəgg	« il fait »
(91)	itəgg^{w}	« il pétrit »

1.2.15 Le système vocalique du tarifit :

Étant donné que la gémination peut influencer les voyelles adjacentes, et que ces dernières peuvent, dans certains contextes, avoir un impact sur l'opposition simples *vs.* géminées, il nous paraît utile de présenter brièvement le système vocalique du tarifit dans ce qui suit.

La majorité des études sur le berbère se contentent de mentionner que le vocalisme du berbère se réduit à un système de trois voyelles /i, a, u/, plus une voyelle dite neutre ou schwa [ə] de nature purement phonétique. Les phonèmes d'aperture moyenne (/e/, /o/, /ɛ/) qui existent dans certains dialectes « orientaux » (touareg, Libye, Tunisie) sont d'apparition récente (Prasse, 1984) et proviennent certainement de la transformation phonologique d'anciennes variantes contextuellement conditionnées. Malgré les travaux de Prasse (1984), on peut douter de leur pertinence réelle en synchronie dans toutes les variantes du berbère. Quand il ne s'agit pas de simples variantes régionales (ce qui est souvent le cas pour [e] et [o]), il n'est pas exclu que leur apparition soit en fait conditionnée, soit par le contexte phonétique (présence d'une consonne ouvrante, notamment vélaire ou pharyngalisée : /i/ => [e] et /u/ => [o]), soit par le contexte accentuel. Si oppositions il y a, leur rendement fonctionnel est en tout état de cause très limité.

Il en va probablement de même pour la durée vocalique qui a un statut distinctif dans les dialectes « orientaux » (notamment le touareg). Plusieurs études récentes dans le domaine ont confirmé et révélé la richesse vocalique d'autres variantes du berbère, comme les dialectes touaregs en usage au Niger (Tayirt et Tawellemmet) (Louali & Puech, 1992).

1.2.16 L'influence de l'emphase sur la qualité des voyelles adjacentes :

Les corrélats acoustiques de l'emphase, comme indiqué dans la littérature, consistent en une élévation de F1 et un abaissement de F2, et cet effet, uniforme sur les voyelles fermées, semble prendre la même direction pour les voyelles ouvertes.

La Figure 1 ci-dessous illustre les différentes réalisations des voyelles /i, a, u /du tarifit, dans le contexte emphatique/neutre.

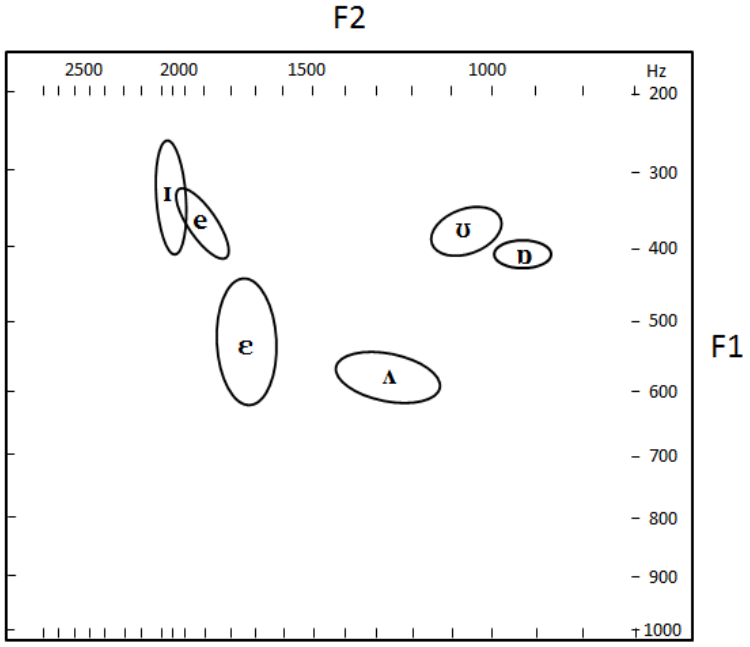


Figure 1 : Ellipses de dispersion sur F1/F2 pour les voyelles du tarifit en contexte neutre (en majuscules) et emphatique (en minuscules) ; (adapté de Louali & Puech, 1998)

La Figure 1 montre la formation de couples dans l'espace vocalique suivant que les voyelles sont en contexte neutre ou emphatique :

(92) [ɪ] et [e] pour /i/

(93) [ʊ] et [o] pour /u/

(94) [ɛ] et [ʌ] pour /a/

Le dédoublement s'opère sur l'axe F2 : les voyelles [ɪ], [ʊ] et [ɛ] (contextes neutres) présentent un F2 plus élevé que les voyelles [e], [o] et [ʌ] (contextes emphatiques). La séparation entre les deux catégories est particulièrement nette pour la voyelle ouverte. L'incidence sur F1 contribue certainement à la discrimination des allophones, mais cette contribution est liée à la partition opérée sur F2.

1.2.17 L'amuïssement de la liquide /r/

L'une des particularités marquantes des parlers du Rif est le phénomène de l'amuïssement de /r/. Les parlers rifains ont connu une évolution particulière de la liquide /r/ au sein du domaine berbère. Cette particularité est rendue chez les berbérisants par l'évocation de la « grande instabilité » de ce segment.

La comparaison avec le tamazight, variante du berbère parlée au centre du Maroc, montre les correspondances suivantes en position *coda* non emphatique :

Tableau 1 : L'amuïssement du *r* en position coda en tarifit comparé au tamazight

	tarifit	tamazight	
æ / ær	θæju	tærju	« ogresse »
	ɛsæðun	æsærdun	« mulet »
ɛæ / ir	θɛsɛæθ	tæsirt	« meule »
ɔɑ / ur	sɔɑf	surf	« enjamber »

Ce phénomène se maintient dans les positions :

Tableau 2 : Le maintien du *r* dans les autres positions en tarifit comparé au tamazight

Position	tarifit	tamazight	
Initiale	rəhnæ	ləhnæ	« stabilité »
Intervocalique	iri	iri	« cou »
	uru	uru	« poignée »
Appui d'attaque sur syllabe	ifri	ifri	« grotte »

Louali & Puech (1998) expliquent ce phénomène dans un travail sur les voyelles du tarifit de Temsamane. Ils ont montré qu'en position *coda,* un /r/ rhotacise le noyau vocalique, l'allonge ou altère son timbre et sa structure (monophtongue ou diphtongue). Cette répartition peut être envisagée comme gardant la trace de différentes étapes d'une évolution diachronique, aboutissant à l'amuïssement du /r/ dans cette position. La réalisation de la diphtongue [ɛæ] correspondant à /ir/, et celle de son homologue [ɔɑ] correspondant à /ur/ pointent vers une même voyelle ouverte. Quant à la réalisation de /ar/, elle se transforme en

[æ]. Cadi (1987) confirme ce phénomène en tenant compte d'un autre paramètre, à savoir la durée de la voyelle. En effet, il s'est rendu compte que /r/ en position *coda* précédé de /a/ devient [æ], avec une durée plus importante que la voyelle de base. Alors que le timbre des voyelles fermées n'est pas affecté lorsque le /r/ est maintenu, la voyelle ouverte se réalise également [æ] quand elle est suivie d'un /r/ maintenu à l'intervocalique, comme dans [æri] « écris ». La réalisation de la diphtongue [ɛæ] correspondant à /ir/ et celle de son homologue [ɔɑ] correspondant à /ur/ pointent vers une même voyelle ouverte, comme le montre la figure ci-après.

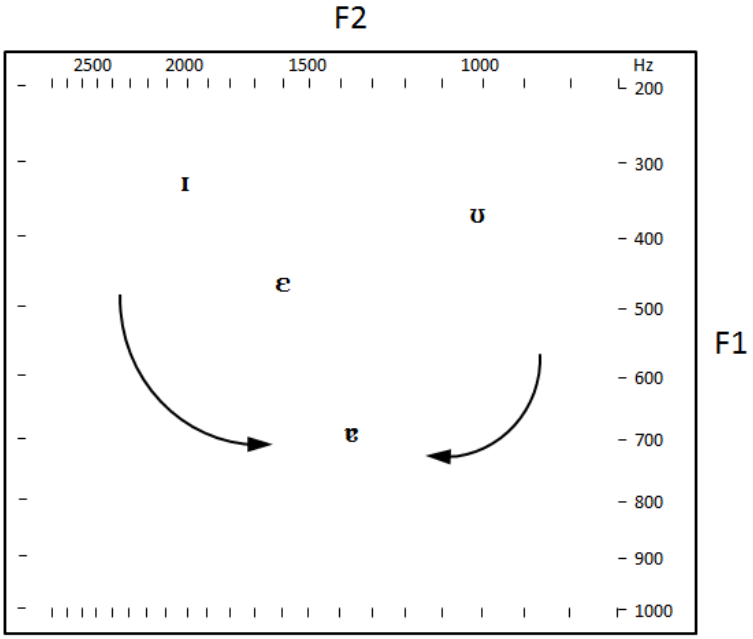


Figure 2 : Trajectoire de diphtongues [ɛæ] (ir) et [ɔɑ] (ur) d'un locuteur du tarifit de Temsamane (adapté de Louali & Puech, 1998)

Chtatou (1994, p. 177) est, à notre connaissance, le premier à avoir approfondi la notion de durée. Son interprétation des faits du tarifit se caractérise par un système phonologique comportant deux sous-ensembles : le triangle vocalique élémentaire et un second marqué par la durée vocalique. Le deuxième triangle est dérivé du premier par le biais d'un phénomène universellement connu, l'allongement compensatoire *« compensatory lengthening »*, qui se manifeste par exemple dans les parlers anglais du sud de l'Angleterre. Ce phénomène de compensation se produit dans l'environnement d'une séquence consonantique, composée d'une voyelle élémentaire et suivie de la liquide /r/ (Vr) ; il est dû au contexte vocalique. La liquide en question s'efface, et sa disparition est compensée par l'augmentation de la durée vocalique de la voyelle qui la précède, ce qui aboutit à une nouvelle gamme vocalique.

Pour Chtatou (1994), les voyelles compensées ne sont pas seulement sujettes à l'augmentation de leurs durées, elles changent aussi d'identité sur l'échelle vocalique (il s'agit

ici de la notion de « *raising-lowering* », souvent retenue par les phonologues anglo-saxons). L'analyse phonologique, menée sur le tarifit de Temsamane par Louali & Puech (1998), met en évidence que le système vocalique du tarifit ne s'organise pas autour d'une opposition de quantité. Il existe une différence de durée entre les voyelles /ɛ, a, i, u/ et les diphtongues /ɛa, ɔa/.

Chtatou (1994) n'a pas pris en considération un autre contexte important, en l'occurrence la position *coda*, car le /r/ subit le phénomène de l'allongement compensatoire dans ladite position, mais se maintient dans le reste des positions.

1.2.18 La gémination : quelques remarques préliminaires

L'une des caractéristiques partagées par les systèmes consonantiques de toutes les langues berbères est le fait que toutes les consonnes brèves ont des correspondantes longues. Les consonnes brèves réfèrent généralement aux simples et les consonnes longues aux géminées.

Une discussion sur la nature des géminées, plutôt longues ou plutôt tendues, segments uniques ou suites de deux segments, anime le monde linguistique berbère. Il s'agit d'un problème théorique fondamental pour lequel le berbère apporte un éclairage supplémentaire, puisque la gémination est un problème central de sa phonologie.

Beaucoup d'auteurs préfèrent analyser ces consonnes comme « tendues » (Chaker, 1984, p. 64 ; Galand, 1988, p. 215). Toutefois, nous noterons que les mesures acoustiques récentes faites par Ridouane (2009) indique que la durée consonantique est le corrélat principal de tous les types de consonnes et dans toutes les positions. Les corrélats secondaires sont l'abrégement de la voyelle qui précède les géminées et une plus importante amplitude du relâchement. Nous reviendrons sur cette question plus loin dans la section longueur ou tension (Section 2.1.2).

Ce qui nous intéresse le plus ici à propos des géminées sont les « irrégularités » qu'elles présentent au sein du domaine linguistique berbère. En effet, certaines consonnes ont des correspondantes géminées qui impliquent d'autres traits que la longueur, et certaines de ces « irrégularités » se retrouvent dans une très large majorité du domaine berbère :

- un trait occlusif peut ainsi être ajouté à la gémination. Aussi, trouve-t-on dans presque toutes les langues et variétés de berbères une correspondance entre la fricative uvulaire sonore simple, notée /ʀ/, et la géminée occlusive uvulaire sourde /qq/.

- un dévoisement peut aussi avoir lieu dans la correspondance entre /ʀ/ et /qq/. En outre, la correspondante géminée du phonème pharyngalisé /dˤ/ est généralement /ttˤ/ dans les langues berbères.

	aoriste	inaccompli	
(95)	ʀar	qqar	« lire, étudier »
(96)	ndˤu	nəttˤu	« sauter »
(97)	ðˤu	ttˤaw	« voler »

Ces variations sont des irrégularités « normales » du domaine linguistique berbère, mais certaines langues font figure d'exception, et on peut alors trouver des alternances « régulières », qui sont les plus notables, certainement issues d'évolutions différentes et plus tardives. Notons à ce propos le cas du zenaga, qui nous intéresse particulièrement ici pour illustrer ce phénomène.

La gémination « irrégulière » que l'on retrouve dans tout le domaine berbère, faisant correspondre la consonne simple voisée /dˤ/ à la géminée non voisée /ttˤ/, est « régulière » en zenaga, et /dˤ/ est alors géminée en /ddˤ/.

Étant donné que seul le zenaga présente cette particularité et que les langues ne rejettent pas les emprunts contenant des consonnes géminées voisées [ddˤ], on peut faire l'hypothèse qu'il s'agit plutôt d'une innovation du zenaga.

Ce processus de régularisation n'est cependant pas complètement isolé. Le kabyle d'Ihbachen, décrit par Rabdi (2004), présente un fait un peu similaire par rapport à la correspondance /ʀ/ => /qq/. Selon lui, cette dernière n'est plus productive dans cette variété, et elle est régularisée le plus souvent en une alternance /ʀ/ => /ʀʀ/.

Malgré ces quelques entorses au système de base, celui-ci est toutefois très bien attesté dans le domaine berbère, et les correspondances « irrégulières » /ʀ/ => /qq/, /w/ => /ggʷ/ et /dˤ/ => /ttˤ/, ainsi que /ðˤ/ => /ttˤ/, peuvent être considérées comme des correspondances « normales » entre consonnes simples et consonnes géminées dans les langues berbères.

1.2.19 Les fonctions lexicales, morphologiques et phonologiques de la gémination

En tarifit, il existe trois types de géminées : lexicales, morphologiques et phonologiques. Les géminées lexicales, dont les occurrences sont imprédictibles, doivent être représentées dans le lexique. Des exemples illustrant cette opposition sont présentés dans les exemples ci-dessous :

(98)	maʃa	«prep. mais »	maʃʃa	« nourriture »
(99)	asam	« jalousie »	assam	« éclaire »
(100)	θazarθ	« figue »	θazzarθ	« fourche »
(101)	amatar	« masacre »	amattar	« demandeur »

Les géminées morphologiques dérivent des processus morphologiques comme la formation des inaccomplis (102a) ou la dérivation des pluriels (102b) :

(102)

a.	aoriste	inaccompli	
	ngəz	nəggəz	« sauter »
	rβəz	rəbbəz	« écraser »
	ksi	kəssi	« porter »
b.	singulier	pluriel	
	fus	ifassən	« main »
	fuð	ifaddən	« genou »

Les géminées phonologiques dérivent d'une assimilation entre deux segments adjacents. Dans (103-105) ci-dessous, nous présentons quelques exemples où les suffixes du féminin (ou de la forme diminutive) ou les préfixes, comme les particules du futur *ad*, sont attachés à des mots se terminant par des consonnes partageant le même lieu d'articulation :

(103)	θaʒðˤiðˤ-t	θaʒðˤittˤ	« oiseau femelle »
(104)	θjaziðˤ-t	θjazittˤ	« poule »
(105)	ad-θas	attas	« elle viendra »

Pour ce qui concerne les géminées hétéromorphémiques dérivées par concaténation, on peut citer l'exemple suivant : ak-karim « avec Karim », lorsque deux segments identiques sont séparés par une frontière morphologique, à l'instar de ce qui se produit dans plusieurs langues.

Cette partie présente un aperçu général du système phonologique du tarifit, c'est-à-dire l'inventaire consonantique et vocalique englobant toutes les consonnes et les voyelles des parlers du tarifit, en comparaison avec quelques autres variantes du berbère. L'inventaire est accompagné d'exemples et d'explications plus détaillées pour les simples et les géminées. Nous avons aussi traité d'autres phénomènes, tels que la spirantisation des occlusives, que nous développerons plus tard. Enfin, nous avons présenté les fonctions (a) lexicale, (b) morphologique, avec les changements qui surviennent dans le cas de l'aoriste et de l'inaccompli, du singulier et du pluriel, et (c) phonologique, avec le phénomène de l'assimilation.

2 Gémination : représentation, comportement et implémentation phonétique

2.1 Quelle représentation pour les géminées ?

2.1.1 S'agit-il d'un seul segment ou d'une suite de deux segments ?

Depuis les années trente, la question de la gémination est clairement posée et débattue : les géminées se composent-t-elles d'un ou de deux segments identiques ? Swadesh (1937) a distingué les géminées dérivées d'une séquence de deux consonnes identiques des consonnes longues. Selon lui, seules les consonnes longues peuvent être en opposition phonémique. Troubetzkoy (1939) a développé, pour la première fois, une analyse formelle de la gémination d'un point de vue purement phonologique. Les géminées sont, selon lui, des segments longs et non pas des séquences de deux segments simples identiques. (Hockett, 1955) propose une analyse différente : pour lui, toutes les géminées sont des séquences de deux consonnes identiques.

Pour l'approche générative de Chomsky & Halle (1968), il existe deux manières de décrire les géminées : comme un seul segment spécifié par le trait [+long] ou comme une séquence de deux segments simples spécifiés par des traits identiques. Ce modèle linéaire permet donc les deux représentations (1a) et (1b) ci-dessous :

(1.a) Segment [+long]

$$\begin{bmatrix} +\text{cons} \\ +\text{long} \end{bmatrix}$$

(1.b) Deux segments [-long]

$$\begin{bmatrix} +\text{cons} \\ -\text{long} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} +\text{cons} \\ -\text{long} \end{bmatrix}$$

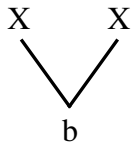
Delattre (1971) voit la gémination en termes de structure syllabique. La gémination serait un processus de ré-articulation de consonnes, où la première consonne occupe la position *coda* alors que la seconde occupe le début de la syllabe suivante. Selon lui, les consonnes géminées sont différentes des consonnes longues. Dans ce cas, les géminées comportent deux phases dans leur articulation comme le montre /b/ dans la représentation (2.a) :

(2.a) Représentation des géminées

$$\begin{array}{cc} X & X \\ | & | \\ b & b \end{array}$$

De ce point de vue, une géminée est un groupe de deux consonnes identiques. La première occupe une syllabe *coda* et la seconde est reformulée comme le début d'une syllabe suivante. D'autre part, les consonnes longues sont considérées comme un seul segment occupant les deux phases comme dans la représentation (2.b).

(2.b) Représentation des consonnes longues



McCarthy (1979) et Leben (1980) adoptent une approche autosegmentale des géminées. Ils considèrent la géminée comme une seule consonne mappée sur deux niveaux squelettiques, comme cela sera discuté dans la section (2.1.3) Ces auteurs voient ainsi une géminée comme un segment unique quand Delattre (1971) affirme qu'une géminée devrait être représentée comme deux segments identiques.

Autrement dit, les géminées sont des sons produits en deux phases avec deux emplacements au niveau de la tire squelettale. Des linguistes se sont mis d'accord sur le fait que, dans les deux représentations 2.a et 2.b ci-dessus, les géminées sont des consonnes longues qui s'opposent aux simples (Ball & Rahilly 1999, Ladefoged & Maddieson 1996). Toutefois, le terme « long » pourrait être illusoire. Il s'appuie sur l'opinion générale qui postule que « la plupart des langues, avec une distinction de la longueur de consonnes, n'ont que deux longueurs distinctives » (Ladefoged & Maddieson, 1996, p. 93). Cette distinction est plus apparente en position intervocalique.

La représentation des géminées a soulevé des questions également en berbère. Saïb (1977) et Guerssel (1977) ont été, à notre connaissance, les premiers berbérisants à s'intéresser à cette question et à la traiter en profondeur. Saïb (1977) a énuméré un ensemble d'arguments qui militent en faveur de la représentation séquentielle des géminées. Mais il en a aussi fournis qui plaident pour une représentation des géminées en un seul segment spécifié par le trait [+ tendu].

2.1.2 Longueur ou tension ?

***Tension*[3] *et durée* :**

Dans la littérature phonétique et phonologique apparaît bien souvent une confusion entre le concept de la gémination et celui de la tension consonantique. Dans les travaux de Jakobson *et al.* (1952), Jakobson & Halle (1968) et Jakobson & Waugh (1987), les auteurs ont mentionné que les langues à deux types d'opposition étaient généralement transcrites comme /b, d, g, *etc.*/ *vs.* /p, t, k, *etc.*/. Pour ces deux types d'opposition, certains auteurs emploient le trait distinctif [voice], d'autres le trait distinctif [tense]. Jakobson & Waugh (1987) ont montré que les langues slaves, comme dans les séries des occlusives du russe, se distinguent au niveau du voisement dans les différents contextes, ce qui permet une opposition phonétique. En outre, ils ont mentionné l'exemple de l'anglais avec le trait distinctif [tense]. En effet, les sons de l'anglais /b, d, g/ *vs.* /p, t, k/ se distinguent dans quelques contextes (souvent en position intervocalique) mais pas dans tous les contextes dans lesquels cette opposition est possible. La durée permet de distinguer les classes des sons dans les différents contextes dans les langues comme l'anglais et l'allemand, avec la durée de l'aspiration, la durée d'occlusion et la durée de la voyelle qui précède la consonne occlusive. Selon Jakobson *et al.* (1952), ces propriétés de la durée qui distinguent /b, d, g/ de /p, t, k/ en anglais sont des corrélats différents du trait [tense].

Pour Jakobson *et al.* (1952), il est possible d'employer les deux traits [tense] et [voice] pour une langue particulière. C'est le cas des langues qui utilisent l'aspiration et le voisement, permettant trois voire quatre sortes de distinctions (Jakobson & Waugh, 1987). Par exemple, le thai distingue phonologiquement les occlusives sonores non aspirées des sourdes non aspirées et des sourdes aspirées. Le hindi également fait la distinction phonologique entre les occlusives sonores non aspirées, les sourdes non aspirées, les sonores aspirées et les sourdes aspirées. Kim (1965) considère, au contraire, que la tension est indépendante de la sonorité et de l'aspiration : *« [...] by claiming the autonomy of the tense / lax category, I will not insist upon discarding the voicing category. I will only claim that it is necessary to recognize both categories, tensity and voicing, for the precise description of stops and that they are across-cutting categories, just as gender and number are cross-cutting of noun »* (Kim, 1965, p. 357).

Fischer-Jørgensen (1968, p. 106), s'appuyant sur ses propres recherches expérimentales, préconise l'indépendance des trois traits, à savoir le voisement, l'aspiration et la tension : *« I*

[3]Voir (Bothorel-Witz & Pétursson, 1972) et (Jessen, 1998) pour une revue de la littérature très détaillée sur cet aspect.

am inclined to keep voicing, aspiration and tenseness as three separate features ». Ainsi, il est justifié, d'après Fischer-Jørgensen, de pendre partie pour :

- la séparation des traits de tension et d'aspiration (1968, p. 88), car les occlusives dites tendues et les occlusives aspirées ne sont pas caractérisées par les mêmes indices : *« […] the articulatory mechanism for subglottal and supraglottal tension is different and independent and the two types must be kept apart »* (Fischer-Jørgensen, 1968, p. 88), la séparation des traits de sonorité et d'aspiration, car la combinaison des deux traits en un seul ne permettrait aucunement de définir les aspirées sonores des langues indiennes (1968, p. 93) ;
- la séparation des traits de sonorité et de tension, car dans certaines langues telles que le coréen, les occlusives ne peuvent être décrites au seul moyen de la sonorité et de l'aspiration. En français, par exemple, sous l'effet de l'assimilation de sonorité, [p, t, k] deviennent sonores tout en restant tendues (1968, p. 106).

Ladefoged (1968) utilise les termes de *tense/lax* et Lisker & Abramson (1964) utilisent ceux de *fortis/lenis* dans un but purement pratique et sans leur attribuer de contenu précis. Cette opposition ne repose, selon eux, sur aucune base physiologique. Notons ainsi que Ladefoged n'applique ce trait qu'aux voyelles.

Le trait [tendu] fonctionne rarement seul dans une langue donnée. C'est-à-dire que plusieurs autres traits – sonorité, aspiration, durée – lui sont souvent associés. Chomsky & Halle (1968, p. 324) décrivent ces trois différences phonétiques au moyen de quatre traits :

- tense / non tense (manner of articulation feature)
- voiced / non voiced (source feature)
- heightened subglottal pressure (source feature)
- glottal constriction (cavity feature)

Selon Chomsky & Halle (1968, p. 326), l'aspiration est autonome car elle est soumise à un mécanisme diffèrent de celui qui commande la tension. « *The tenseness of the supraglottal muscles is evidently controlled by a different mechanism than its tenseness in the supraglottal cavities* ». Les auteurs définissent l'aspiration au moyen de deux variables :

[+ heightened subglottal pressure
- glottal constriction]

Ce constat a été critiqué par plusieurs études. Ladefoged (1967), notamment, déplore que Chomsky & Halle (1968) ne citent aucun travail de recherche établissant le lien entre l'aspiration et la pression sous-glottique. (Fant, 1969, p. 11), à son tour, fait remarquer que la position de Chomsky et Halle sur la nécessité du trait « heightened subglottal pressure » pour l'aspiration n'est pas défendable. Fant (1969) propose plutôt le trait « glottal relaxation » qui recouvrirait l'aspiration en général.

En ce qui concerne la durée, Jessen (1998) affirme que Jakobson *et al.* (1952) considèrent la durée comme le corrélat primaire de la tension « *in consonants tenseness is manifested primarily by the length for their sounding period, and in stops, in addition, by the greater strength of the explosion* » (Jakobson *et al.*, 1952, p. 36). Il souligne que Jakobson & Halle (1961) voient la durée non seulement comme un corrélat primaire mais probablement comme le seul corrélat du trait [tendu]. « *The relative duration of the consonant and the antecedent phoneme may remain for certain contextual or optional variants of tense and lax consonants the chief or even the only cue to their distinction*. » (p. 60).

Le trait de tension a été contesté par plusieurs chercheurs à cause de la complexité des propriétés acoustiques, articulatoires et physiologiques qui lui sont attribuées. Ces divergences se reflètent dans la terminologie même : [tendu], [fortis], [force d'articulation], [lenis], [lâches] et [long]. À notre connaissance, aucun phénomène phonétique censé être le même n'a été caractérisé par autant de termes différents. Comme nous l'avons souligné *supra*, plusieurs facteurs peuvent expliquer les divergences qui entourent l'emploi de ce trait. Cette divergence est tout d'abord liée à la nature même des segments analysés. Elle caractérise aussi bien les oppositions de type /t/ *vs.* /d/, traditionnellement définies comme une opposition de voisement, que les contrastes de type /t/ *vs.* /tt/, qui se distinguent en termes de durée. Un autre problème méthodologique est associé aux mesures de la tension musculaire comme un des corrélats du trait [tendu]. Braun (1988), cité par Jessen (1998), a montré que les mesures électromyographiques n'avaient pas encore permis de dégager un corrélat convaincant et consistant de ce trait. « *As a first problem, electromyography (EMG) is among the methods in instrumental phonetics that is very difficult to apply. Secondly, it is not clear which of the muscles involved in speech production provides the most likely correlate of the feature [tense]. EMG measurements of supralaryngeal muscles have so far not revealed a convincing correlate of [tense].* » (p. 119).

Longueur ou tension : le cas du berbère

Depuis longtemps, les berbérisants se sont intéressés à la question de la spécification de la corrélation de la longueur et de la tension. Basset (1952) adopte la terminologie « consonnes longues », mais depuis l'apparition du terme « tension », dès 1953, quelques berbérisants adoptaient la terminologie de « tension ». Galand (1988, 1997), Mitchell (1957), Cadi (1987), Ouakrim (1993, 1994, 1999) et Louali & Puech (1994) considèrent /t/ et /tt/ comme des segments simples qui se distinguent en un trait distinctif [+tense] pour /tt/ et [-tense] pour /t/. Pour ces auteurs, la longueur des consonnes géminées est une conséquence automatique de leur force articulatoire ou de la « tension » (Galand, 1997, p. 57) : *« En berbère, toute consonne peut se présenter comme simple ou comme épaisse, opposition exploitée par la morphologie et par le lexique. On veut montrer ici que le trait phonologiquement pertinent des consonnes épaisses n'est pas la gémination, comme on le dit traditionnellement, mais la tension, tandis que la durée (ou la longueur) peut jouer un rôle secondaire. Puisque les géminées, strictement définies, chevauchent une limite de syllabe, la tension peut seule rendre compte de la présence de consonnes épaisses (même occlusives) en position initiale ou finale. De plus, elle permet d'expliquer pourquoi les consonnes épaisses correspondant à des sonores et/ou à des fricatives sont souvent sourdes et/ou occlusives* ».

D'autres études, telles que Saïb (1977) et Guerssel (1977), s'inspirant du modèle génératif, posent le problème en d'autres termes et s'intéressent davantage à la question de la représentation de ces consonnes comme un ou deux segments. À partir de données acoustiques du kabyle, Chaker (1975) conclut que la durée est le corrélat acoustique principal, mais n'exclut pas le caractère tendu de ces consonnes.

D'autres, comme Ridouane (2007) par exemple, à partir de données acoustiques et articulatoires du tachelhit, confirment que la durée plus longue des géminées est une caractéristique universelle de ces segments. Les données articulatoires et acoustiques sur le tarifit (Bouarourou *et al.*, 2011) montrent que les locuteurs ne font pas deux « choses » mais une seule et même « chose » en un temps plus long. Par le terme « chose », il faut comprendre « geste ». Nous développerons ses résultats plus loin (Chapitre 13).

2.1.3 Représentation X-slot ou représentation moraïque

Au milieu des années 1970, l'émergence de la phonologie autosegmentale (Goldsmith, 1976) et la réintroduction de la syllabe (Kahn, 1976) dans les analyses phonologiques se sont avérées cruciales pour le type de processus qui nous intéresse ici, à savoir la structure

syllabique de la gémination. La phonologie linéaire issue de SPE (*Sound Pattern of English*) repose sur des séquences de matrices de traits. En revanche, la phonologie autosegmentale suppose que les représentations phonologiques ne soient pas formées uniquement de séquences de matrices de traits et que certaines structures supplémentaires puissent être prises en compte sur différents paliers autonomes. L'autosegmentation a changé le statut de certaines unités telles que le ton et la syllabe. Ainsi, certains processus tonals ont suggéré que les tons devaient être considérés comme des unités séquentielles pouvant figurer sur leur propre tire autosegmentale. Dans les représentations phonologiques, ces tons peuvent être associés à des segments par l'intermédiaire de lignes d'association. Les lignes d'association traduisent en quelque sorte une notion de simultanéité de deux propriétés. Outre les tons, le développement de la phonologie autosegmentale a démontré que certains traits figurant dans les matrices segmentales pouvaient être également autosegmentalisés. À ce titre, l'un des développements les plus importants vis-à-vis de cette manipulation a été d'attribuer un statut autonome à la syllabicité, qui n'avait aucun statut théorique particulier dans la phonologie générative issue de SPE.

La représentation X-slot

La tire CV est apparue peu de temps après la théorie CV dans les représentations phonologiques. Levin (1985) et Lowenstamm & Kaye (1986) considèrent qu'il est possible de dériver la structure syllabique non pas d'une tire squelettique CV mais d'une tire temporelle. À ce titre, toutes les unités squelettiques peuvent être représentées par une suite monotone de X (Levin, 1985) ou de ● (Lowenstamm & Kaye, 1986). Les suites sont alors formellement interprétées comme des positions pures. Levin (1985) suppose par exemple que la structure syllabique peut être considérée de la même manière que les structures syntaxiques de type X-bar. Selon elle, la notion de syllabe peut être interprétée en termes de projection d'une catégorie primitive N essentielle à la syllabe : le noyau. Dans une telle approche de la structure syllabique, l'attaque constitue le spécificateur du noyau et la *coda* son complément. En ce qui concerne la rime, qu'elle considère non pas comme un constituant universel mais un constituant spécifique, celle-ci est interprétée comme la première projection de la catégorie N. En revanche, la projection du nœud syllabique N est quant à elle universelle. Dans la théorie X de Levin (1985), chaque projection est associée à un segment par l'intermédiaire d'une tire squelettique. Par ailleurs, Levin (1985), qui fournit des arguments à l'encontre de la théorie CV de Clements & Keyser (1983), propose de remplacer la tire squelettique CV par une tire uniquement constituée d'unités temporelles qu'elle symbolise par X.

La représentation moraïque

Dans les années 1980, les théories segmentales de la syllabe ont été concurrencées par une théorie moraïque de la syllabe. Ainsi, certains auteurs comme Hyman (1985), McCarthy & Prince (1986), Hayes (1989) et Itô (1989) ont rejeté un niveau de représentation squelettique en faveur d'une structure reposant sur le poids syllabique, essentiellement exprimé par l'intermédiaire de la more (symbolisée par μ).

Du point de vue formel, la notion traditionnelle de more a été introduite dans les analyses phonologiques issues de la phonologie générative de Hyman (1985) et de McCarthy & Prince (1986).

Dans l'approche développée par Hyman (1985), tous les segments d'une représentation sous-jacente sont associés à une more. L'approche développée par McCarthy & Prince (1986) favorise une représentation dans laquelle le statut moraïque d'un segment découle généralement de son comportement vis-à-vis du poids syllabique diagnostiqué dans une langue particulière. En lardil (parlée au nord de l'Australie) par exemple, seules les voyelles longues (CVV) comptent comme des syllabes lourdes, alors qu'en kwakwala (wakashan, Vancouver), seules les voyelles longues (CVV) et les voyelles brèves suivies par une sonante (CVR) sont lourdes. Le modèle moraïque, sans doute le plus répandu aujourd'hui dans la littérature phonologique, est celui développé par Hayes (1989). Son approche est fondée en grande partie sur les modèles moraïques précédents. Selon Hayes (1989), les langues ne diffèrent que dans la manière dont les structures moraïques sont phonologiquement contrastives.

Comme le souligne Hayes (1989), la more possède un double rôle dans la théorie. Premièrement, elle encode un contraste de poids syllabique relativement répandu qui distingue les syllabes légères des syllabes lourdes. Ainsi, les recherches portant sur les systèmes accentuels, la versification ainsi que d'autres processus tels que l'allongement compensatoire ont révélé une distinction fondamentale entre deux types de syllabes : les syllabes légères et les syllabes lourdes. Généralement, les syllabes lourdes contiennent une voyelle longue (CVV) ou une consonne finale (CVC), alors que les syllabes légères contiennent une voyelle brève (CV). Dans la théorie moraïque, une syllabe légère possède une more et une syllabe lourde en possède deux. Deuxièmement, la more représente une position phonologique identique aux positions pures des théories segmentales de la syllabe : un segment simple est associé à une more alors qu'un segment long est généralement associé à deux mores. En ce sens, la more encode aussi bien le poids que la quantité segmentale. La

conséquence d'une telle théorie est que seuls certains segments sont associés à des éléments de la tire temporelle comme dans la représentation ci-dessous.

Distinction de quantité consonantique (Hayes, 1989, p. 257)

a. Consonne simple b. Consonne géminée

2.1.4 La question des géminées initiales et finales

La gémination en position intervocalique est plus commune que la gémination en position périphérique (Thurgood, 1993 ; Muller, 2001). Cette typologie est généralement corrélée avec des preuves montrant que les géminées en positon initiale et en position finale sont perceptivement moins saillantes, puisque la différence de durée entre les géminées et les simples est moins perceptible. La durée indique généralement que les géminées sont de 1,5 à 3 fois plus longues que les simples (Ladefoged & Maddieson, 1996). Ce ratio devient plus faible lorsque la gémination survient en périphérie, explique Pająk (2009).

Les géminées initiales, très rares à travers les langues, sont néanmoins attestées dans des langues comme le suisse alémanique, le chypriote, le pattani malais, le berbère et certains dialectes de l'arabe. Ces géminées initiales ont soulevé un certain nombre de problèmes phonologiques par rapport à la représentation des géminées dans les modèles moraïques les plus répandus (McCarthy & Prince, 1986 ; Hayes, 1989). Dans ces modèles, les attaques, qui ne prennent part à aucun processus phonologique, ne peuvent être associées à une more dans les représentations. Pour cela, les consonnes géminées initiales ont reçu différentes interprétations dans la littérature. Selkirk (1990), par exemple, considère qu'une consonne géminée en position initiale est une suite de deux consonnes associées à deux nœuds racines qui partagent les mêmes traits. L'une des manières d'éviter une telle configuration dans la représentation des géminées initiales consiste à attacher la more à laquelle cette consonne est associée à un constituant prosodique supérieur à la syllabe. Pour Curtis (2003), par exemple, les géminées initiales sont des segments dont la première partie est associée à une more elle-même associée au mot prosodique, et dont la seconde partie est directement associée à un nœud syllabique. Quant à Topintzi (2008), il considère la représentation dans lesquelles les géminées initiales sont interprétées comme des segments monomoraïques directement associés au nœud syllabique. *« Initial geminates pose a serious problem for the theory since word-initially no coda exists to host the first half of the geminate. Previous proposals have*

addressed this issue but have not resolved it satisfactorily, because they have created new difficulties pertaining to prosodification, syllabification or generation of insufficient or incorrect patterns. I propose that treating the geminate as a moraic onset simultaneously resolves all the issues above, provided we dispense with the stipulation that onsets are never moraic. » (Topintzi, 2008, p. 147).

Mitchell (1993) passe en revue les sources de géminées initiales en arabe vernaculaire. Il en conclut qu'une voyelle anaptyctique peut être entendue dans la plupart des cas de gémination initiale, mais qu'elle n'est jamais essentielle et qu'il convient de l'omettre : « *an anaptyctic vowel may be heard in most cases of initial gemination but it is never essential and better omitted* » (pp. 93,94). Guerssel (1978), dans un travail sur le parler tamazight, montre que le schwa est inséré dans les formes CCV et C:V mais pas dans la forme CV, comme dans les exemples suivants :

(106)	bdu	[əbdu]	« commencer »
(107)	ddu	[əddu]	« partir »
(108)	su	*əsu	« boire »

Au niveau acoustique, il est important de mentionner les travaux d'Abramson (1986, 1987, 1991, 1998, 1999) sur le patani malais, une langue austronésienne parlée dans les provinces de l'est de la Thaïlande. Dans cette langue, toutes les consonnes possèdent un contraste de longueur en position initiale de mot. Comme nous allons le voir, ce cas existe également dans les langues berbères. L'indice perceptif principal, comme pour les autres langues à gémination, est la durée d'occlusion, mais cet indice-là ne peut pas s'appliquer aux occlusives sourdes en position initiale absolue, puisque la durée de l'occlusion n'y est pas perceptible : *«[...]no direct signal of the relative durations of stop closures in utterance-initial position[...] »* (Abramson, 1999, p. 591). Pourtant, selon Abramson (1999), les locuteurs natifs du pattani malais identifient parfaitement de tels mots. Cela suppose donc que ces locuteurs utilisent des indices autres que la durée de l'occlusion. Après plusieurs expériences, Abramson (1999) finit par identifier des différences significatives entre les occlusives sourdes simples et leurs homologues géminées en position initiale, au niveau de l'amplitude du burst et la fréquence fondamentale de la voyelle suivante. Ouakrim (1999), sur les données du tachelhit, a trouvé qu'en position initiale, les occlusives sourdes géminées sont produites avec un VOT plus bref et une intensité plus haute de la voyelle suivante par rapport à leurs homologues simples. Galand (1997), à son tour, défend le fait que la durée en position initiale ne permet pas de distinguer de telles paires, puisque rien n'est entendu jusqu'au relâchement. Cela implique que d'autres corrélats sont utilisés par les locuteurs du tachelhit

comme, par exemple, une plus grande force articulatoire. Ces corrélats sont considérés comme des manifestations de la fonction [+tendu], qui caractérise ces segments et permet de les distinguer de leurs homologues [-tendu].

Au niveau articulatoire, il est important de mentionner les travaux de Kraehenmann & Lahiri (2008) sur le suisse alémanique et ceux de Ridouane (2007) sur le tachelhit. Dans leurs études électropalatographiques des occlusives simples et géminées en position initiale absolue, il a été montré que ce sont les géminées, en position initiale, qui étaient systématiquement plus longues dans leur articulation que leurs homologues simples. Armosti (2009) a mené les mêmes études électropalatographiques sur des occlusives alvéolaires sourdes, simples et géminées du chypriote en position initiale absolue. Les mêmes résultats ont été obtenus dans ce travail, mais uniquement dans des environnements inaccentués.

Pour les géminées en position finale, en hongrois par exemple, il existe un processus optionnel de dégémination qui touche les glides et les liquides en position finale. Dans ce cas, la dégémination provoque régulièrement l'allongement de la voyelle précédente (Curtis, 2003).

Selon Ridouane (2003), il existe des différences significatives entre les durées d'occlusion des simples et des géminées en fonction de la position qu'elles occupent dans le mot. Il a montré que les occlusives en position finale (simples ou géminées) avaient une durée d'occlusion plus longue qu'en position intervocalique.

Pour résumer,

(1) Il s'agissait d'abord de montrer les différents arguments concernant la représentation des géminées en un seul segment ou en une suite de deux segments. Nous avons ensuite évoqué les débats contradictoires concernant les notions de tension et de gémination.

(2) Dans le cadre de la phonologie CV, il existe deux représentations : la représentation X-slot et la représentation moraïque. La première est basée sur la durée et la deuxième sur le poids de la syllabe.

(3) Enfin, nous avons présenté les caractéristiques phonétiques et phonologiques des géminées en positions initiale et finale.

2.2 comportements pour les géminées ?

Dans la phonologie CV, une géminée est représentée comme une seule unité mélodique (un ensemble de traits distinctifs qui caractérisent un segment) associée à deux positions

prosodiques (Leben, 1980). Cette représentation s'appuie sur le principe de la syllabicité représentée sur la couche prosodique, appliqué ensuite à l'analyse des consonnes géminées, y compris les géminées post-lexicales (Kenstowicz, 1994). Les schémas sous-jacents représentent :

- une occlusive simple (a),
- une géminée lexicale (b),
- une géminée créée par concaténation de deux occlusives identiques à travers un morphème frontière (c),
- et une géminée dérivée d'une assimilation totale (d).

(3) a. b. c. d.

Les représentations ci-dessus appliquées au tarifit donnent lieu aux exemples suivants :

a) simple

(109) /amatar/ [amatar] « massacre »

b) géminée lexicale

(110) /amattar/ [amattar] « demandeur »

c) géminée issue d'une concaténation

(111) /ak karim/ [ak karim] « avec Karim »

d) géminée issue d'une assimilation

(112) /ad θas/ [at.tas] « elle viendra »

Ici, nous essaierons de traiter les trois comportements des géminées. Tout d'abord, nous verrons la notion d'ambivalence : c'est-à-dire leur comportement à certains égards, comme si elles constituaient deux segments, et dans d'autres, comme si elles n'en formaient qu'un seul (*cf.* (Kenstowicz, 1970). Ensuite, nous présenterons la notion d'intégrité. Cette approche permet de montrer que dans la mesure où ils constituent deux segments, les segments longs ne peuvent pas être divisés par des règles d'épenthèses. Enfin, nous introduirons la notion

d'inaltérabilité. Le processus permet d'observer l'impossibilité de modifier les géminées lexicales tout en affectant les simples et les fausses géminées (Hayes, 1986).

2.2.1 L'ambivalence

Les deux représentations différentes de l'approche générative des géminées (1a) et (1b) plus haut reflètent une ambiguïté inhérente à leur comportement. Les géminées se comportent comme un seul segment dans un cas, et comme une suite de deux segments dans l'autre. Ce phénomène a été traité par Chomsky & Halle (1968) en termes de règles qui modifient la représentation (1a) en (1b) ou vice-versa. Mais ces règles sont *ad hoc*. Les travaux post-SPE ont rapidement mis en lumière les lacunes d'une telle description et ont démontré qu'aucune des deux représentations ne peut adéquatement rendre compte de la manière dont les géminées se comportent vis-à-vis de certains processus phonologiques (*cf.* Kenstowicz, 1970 , Sampson, 1973 et Barkai, 1974).

Ce comportement est parfois attesté au sein d'une même langue, comme c'est le cas pour le tarifit et quelques variantes du berbère. Nous allons nous servir d'exemples très connus et utilisés par plusieurs auteurs pour illustrer cette ambiguïté. Nous proposerons d'abord des exemples tirés de l'hébreu tibériade, puis nous reviendrons sur des exemples attestés en tarifit pour illustrer ce phénomène. Sampson (1973) décrit le processus de spirantisation qui affecte les segments simples mais pas les géminées, comme l'atteste aussi (Kenstowicz, 1994, p. 411) : *« A process of stop spirantization turns postvocalic stops into fricatives. This phonological process affects short stops but not long stop 'geminates' »*. Ainsi, la spirantisation serait un processus phonologique par lequel certaines occlusives simples (113) et (114) se réalisent comme les constrictives correspondantes. Leurs homologues géminées (115) résistent à cette règle.

(113)	/katab/ →	[kaθav]	« écrire »
(114)	/yi-ktob/	[yixtov]	« écrire, imp »
(115)	/gibbor/→	[gibbor]	« héros »

Dans les exemples (113) à (115), les occlusives deviennent des constrictives en position postvocalique. Cependant, les géminées résistent à la spirantisation. Ce phénomène est attesté également en tarifit, et ce dans tous les contextes. Si l'on observe le corpus suivant :

(116)	/tamʀart/→	[θamʀarθ]	« femme »
(117)	/ta/ →	[θa]	« celle-là »
(118)	/da/ →	[ða]	« ici »
(119)	/ttari/ →	[ttari]	« elle écrit »
(120)	/amətt^{ʕ}a/	[amətt^{ʕ}a]	« larme »
(121)	/taddart/	[θaddarθ]	« la maison »

Dans les formes (116-118), les occlusives dentales se réalisent comme les constrictives correspondantes. Le /t/ du féminin, qui est à la fois préfixe et suffixe (116), et le préfixe (117), se réalisent comme [θ]. Le /d/, qui désigne l'adverbe de lieu (118), se réalise comme [ð]. En revanche, dans les formes (119-121), leurs homologues géminées résistent à l'application de cette règle. L'incapacité des géminées à se spirantiser est un aspect universel qui reflète « l'inaltérabilité » de ces segments Hayes, 1986 ; Schein & Steriade, 1986 ; Churma 1988 ; Kirchner, 2000).

Kenstowicz (1994) montre également qu'en hébreu biblique, les géminées ne se comportent pas seulement comme des consonnes longues, mais aussi comme des séquences de consonnes. Cette langue a une règle de réduction vocalique qui réduit une voyelle en schwa dans le contexte ___ CVCV pour marquer le pluriel des noms, comme dans le corpus suivant :

- Réduction vocalique en hébreu tibériade

(122)	/malak-im/	[məlaxim]	« rois »
(123)	/galgal-im/	[galgalim]	« roues »
(124)	/sappir-im/	[sappirim]	« saphir »

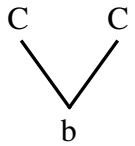
Dans (122), la réduction vocalique réduit une voyelle en schwa dans le contexte ___ CVCV pour marquer le pluriel du mot « roi ». Cependant, la réduction est bloquée quand la voyelle est suivie d'un groupe de consonnes (123) ou d'une géminée (124).

Ainsi, dans la phonologie linéaire, une géminée est représentée soit comme une consonne longue, soit comme une séquence de deux consonnes identiques. Les géminées constituent donc un problème pour le modèle linéaire. La période post-SPE n'a certes pas apporté de réponse satisfaisante au problème de l'ambiguïté des géminées, à cause du cadre théorique de l'époque qui ne le permettait pas. Mais, les différents travaux qui ont traité ce sujet ont eu le mérite d'avoir identifié le problème. Certains auteurs, notamment Kenstowicz (1970), ont remarqué que les règles phonologiques qui faisaient appel à la représentation séquentielle étaient des règles prosodiques qui affectaient la durée ou l'accent. Les règles qui

requièrent des spécifications en terme de trait [+long] sont souvent des règles qui affectent la qualité des segments. Cette distinction entre règles prosodiques et règles qualitatives a été traitée et développée d'une manière formelle dans le cadre de la phonologie CV.

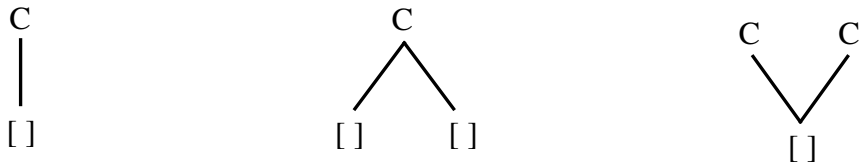
Dans le modèle non linéaire, le dilemme auquel est confrontée la représentation des géminées dans le cadre linéaire n'existe plus. Dans ce cadre-ci, les géminées sont associées à deux positions squelettiques, comme le montre la représentation ci-dessous :

(4) Représentation de géminées en phonologie non linéaire



La théorie de la phonologie CV, telle qu'elle est appliquée à la quantité, s'inscrit dans le cadre plus large de la phonologie autosegmentale (*cf.* Leben, 1980 ; McCarthy, 1981 ; Steriade, 1982 ; Clements & Keyser, 1983). Elle a fourni des solutions définitives pour résoudre le problème de l'ambiguïté des géminées. L'idée de base de la phonologie CV est que la propriété de la syllabicité est représentée sur une couche autosegmentale (couche prosodique) séparée de la couche mélodique. Selon Clements et Keyser (1983), les deux niveaux de représentation sont liés par des lignes d'association. Cette approche permet les représentations suivantes :

(5) a. b. c.



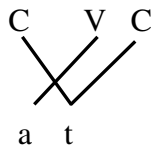
(5a) est une représentation d'un segment simple lié à une seule position prosodique. La représentation (5b) est celle des affriquées, par exemple, ou des occlusives pré-nasalisées. La représentation (5c) est celle des consonnes géminées. Les consonnes géminées se distinguent des simples, non pas par un trait distinctif, mais par le nombre de positions prosodiques qu'elles comportent : la simple est associée à une position prosodique (5a, voir aussi 6a) et la géminée à deux positions prosodiques (5b, voir aussi 6b) :

(6) a. Simple b. Géminée

Les représentations (5-6) sont gouvernées par un certain nombre de principes comme le Principe du Contour Obligatoire (PCO ou *Obligatory Contour Principle*). Ce principe a été développé dans le cadre de la phonologie tonale par Leben (1973), et repris ensuite par Goldsmith (1976). Le principe PCO interdit l'adjacence de deux éléments identiques sur un même niveau autosegmental. Une telle suite est remplacée par un segment simple doublement lié. C'est principalement à travers l'analyse de la structure de la racine en arabe que la valeur explicative de ce principe a été développée. En effet, le PCO combiné aux principes d'association gauche / droite permet d'expliquer l'asymétrie entre les mots de type « samam », qui sont très largement répandus et les mots de type « sasam » qui sont exclus McCarthy (1979, 1981). Ainsi, McCarthy (1981) le précise brièvement comme suit : *« In brief, Arabic allows roots of two, three, and four consonants, all of them subject to the Obligatory Contour Principle. Biconsonantal roots are realized on the surface with gemination of the second consonant as a direct consequence of the universal left-to-right association convention.* » (McCarthy, 1981, pp. 396–397)

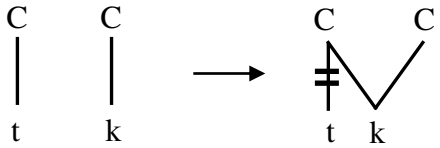
D'autres principes incluent la contrainte contre le chevauchement des lignes d'association : les configurations comme dans (7) sont universellement incorrectes. Les règles sont bloquées lorsque de telles configurations sont dérivées :

(7)



Assimilation = propagation « assimilation as spreading ». Halle et Flanagan (1980) soutiennent que les règles d'assimilation totale ne changent pas un segment pour qu'il devienne identique à un autre, mais impliquent plutôt la propagation de la mélodie du segment déclencheur sur la position du segment cible sur la tire CV, exactement de la façon dont les autosegments tonals se propagent. Ainsi, le processus d'assimilation totale de /t/ à /k/ implique la propagation des traits mélodiques de /k/ vers la position C de l'élément cible, créant ainsi une structure avec deux positions prosodiques liées à un seul élément mélodique. Le /t/ sous-jacent s'efface par convention « *Stray Erasure* » (McCarthy, 1981). L'*output* de cette ré-association a la même représentation que celle d'une géminée lexicale. Cette règle est formulée dans (8) :

(8)



2.2.2 Intégrité :

Dans les langues ayant des géminées et des règles d'épenthèse, il a toujours été constaté que les segments épenthétiques ne pouvaient pas être insérés entre les deux moitiés des géminées.

Abu-Salim (1980) décrit un cas intéressant tiré de l'arabe palestinien. De façon générale, l'épenthèse dans cette langue fonctionne comme suit:

(9) $$\emptyset \longrightarrow \underset{\underset{i}{|}}{V} / C - C \begin{Bmatrix} C \\ \# \end{Bmatrix}$$

Exemples de l'épenthèse en arabe palestinien :

(125) /ʔakl/ → *ʔakil* « nourriture »

(126) /ʔakl-kum/ → *ʔakilkum* « votre nourriture »

(127) /ʒisr kbi:r/ → *ʒisrikbi:r* « grand pont »

(128) /lʔakl l-mni:ħ/ → *lʔakllimni:ħ* → *lʔakillimni:ħ* « la bonne nouriture »

La règle d'épenthèse (9) est insuffisante sur un point. Elle ne parvient pas à montrer qu'elle est bloquée quand il s'agit d'insérer un /i/ au milieu de la géminée, comme dans les exemples ci-dessous :

(129) ʔimm (**ʔmim*) « mère »

(130) *sitt-na (*sititna)* « notre grand-mère »

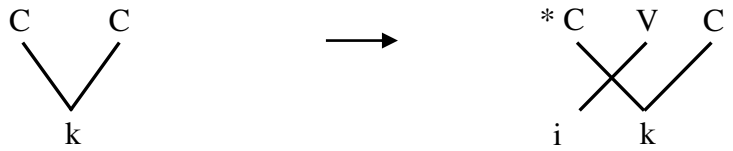
Comme indiqué ci-dessus (voir 7), la règle de l'épenthèse ne peut pas diviser les deux parties d'une géminée. Il s'agit du phénomène d'inséparabilité ou d'intégrité des géminées. Guerssel (1977, 1978), dans son analyse de la syllabisation en berbère, a montré que le processus d'épenthèse de schwa avait lieu dans une suite de consonnes C---CC. C'est le cas par exemple de / amə.tfu.nast/[4] « comme une vache ». Il affirme cependant que lorsque les deux premières consonnes de la séquence forment une géminée, comme dans tazzla « course », *tazəzla, l'épenthèse est bloquée. En revanche, l'insertion du schwa est permise en position pré-géminée ($CəC_iC_i$) ou entre deux consonnes géminées (C_iC_i ə C_iC_i). Ce phénomène est attesté aussi en tarfit, comme dans le cas des géminées morphologiques permettant d'exprimer l'inaccompli (Bouarourou, 2006) :

[4] Les points marquent les frontières syllabiques.

	aorist	inaccompli	
(131)	/ bna /	/ bənna /	« construire »
(132)	/ ngəz /	/ nəggəz /	« sauter »
(133)	/ nkar /	/ nəkkar /	« nier »
(134)	/ rβəz /	/ rəbbəz /	« écraser »
(135)	/ ttu /	/ ttəttu /	« oublier »

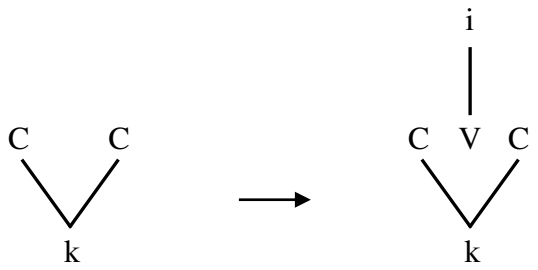
L'impossibilité d'application de la règle d'insertion du schwa dans le cas de (tazzla) « courir », (*tazəzla) et dans les formes (129-130) de l'arabe palestinien est une conséquence de la contrainte universelle contre le chevauchement des lignes d'association. Il est en effet impossible de scinder les géminées sans violer cette contrainte :

(10) L'interdiction du chevauchement des lignes d'association



L'interdiction du Chevauchement des lignes d'association a été jugée problématique Itô (1986) note que dans la morphologie non-concatenative, les voyelles et les consonnes sont représentées sur deux niveaux distincts (McCarthy, 1979, 1981). En conséquence, *l'interdiction du Chevauchement des lignes d'association* ne peut pas bloquer l'épenthèse puisque les lignes associées ne se croiseront jamais (10).

(11) L'inefficacité de l'interdiction du chevauchement des lignes d'association



Itô (1986) conclut donc qu'une structure liée comme la géminée est « pleinement syllabée », et que l'épenthèse n'est pas nécessaire. Le processus de « tier conflation » (Younes, 1983 ; McCarthy, 1986) devient alors un facteur important pour expliquer cette adhésion apparente des deux niveaux à l'intégrité des géminées.

Le problème du comportement ambigu des géminées est parfaitement résolu dans le cadre de la représentation autosegmentale, puisque de telles représentations permettent de rendre compte aussi bien des règles qualitatives que quantitatives. L'insécabilité des géminées est également déductible des représentations qui définissent les géminées comme un seul

segment lié à deux positions prosodiques. Une autre particularité des géminées est leur inaltérabilité.

2.2.3 L'inaltérabilité des géminées

Hayes (1986) a été un des premiers à avoir traité la question de l'« inaltérabilité » des géminées de manière systématique et approfondie. Les géminées résistent à certains processus phonologiques auxquels leurs contreparties simples ne résistent pas. Parmi les cas cités dans la littérature (Guerssel, 1978 ; Hayes, 1986 ; Schein & Steriade, 1986), le blocage de la spirantisation des géminées apparaît comme universel.

Tableau 3 : Résumé du blocage de la spirantisation dans les géminées dans différentes langues du monde (Kirchner, 2000)

Langue	Référence	Description du processus
Florentine Italia	Giannelli & Savoia, 1979	Lénition (allant de spirantisation pour compléter l'élision, selon la vitesse d'élocution et le registre), bloquée pour les géminées occlusives
Hausa	Klingenheben, 1928	b, d, g => w, r, w dans la *coda*, bloquée pour les géminées
Malayalam	Mohanan, 1986	Les occlusives => approximantes dans le contexte/[+son,-nas] __V, bloquée pour les géminées.
Proto-Berbère	Saïb, 1977	Les occlusives => constrictive (contexte libre), bloquée pour les géminées
Somali	Armstrong, 1964	Spirantisation en position intervocalique des occlusives sonores, bloquée pour les géminées
Tamil	Christdas, 1988	Voisement et spirantisation en position médiane, bloquée pour les géminées
Hébreu Tibériade	Malone, 1993	Spirantisation des occlusives non emphatiques en position postvocalique, bloquée pour les géminées
Tigrinya	Kenstowicz, 1982	Occlusives vélaires => constrictives uvulaires en position postvocalique, bloquée pour les géminées
Tümpisa Shoshone	Dayley, 1989	Spirantisation, le *flapping* est bloqué après une nasale homorganique et pour les géminées, le voisement est bloqué pour les géminées

Comme dans les exemples de l'hébreu tibériade (Sampson, 1973 ; Leben, 1980), du tigrinya (Schein, 1981), du tümpisa, du shoshone (Dayley, 1989), de l'ibibio (Connell, 1991), du tamoul (Christdas, 1988), du wolof du Sénégal (Ka, 1994) et du berbère (Saïb,1977 ; Elmedlaoui, 1993 ; Ridouane, 2008) le processus de la spirantisation est bloqué quand il s'agit d'une géminée.

Sampson (1973) et Leben (1980) ont retenu l'exemple de l'hébreu tibériade pour illustrer ce propos. Ils ont montré que les occlusives /p, t, k, b, d, g/ étaient en distribution complémentaire avec les constrictives /f, θ, x, β, ð, ɣ/. Les occlusives se trouvent en position initiale et post-consonantique et les constrictives se trouvent en position post-vocalique. Dans le corpus suivant, Sampson (1973) montre la spirantisation post-vocalique de l'hébreu tibériade :

(136)	kâθaβ	« il a écrit »	mixtâβ	« lettre »
(137)	malkâ	« reine »	melex	« roi »

Leben (1980) représente la conception de Sampson (1973) dans la règle suivante :

[-son] ⟶ [+cont] / V —

Le corpus de Sampson (1973), ci-dessous, montre que la spirantisation n'affecte pas les géminées dans l'hébreu tibériade, même si elles sont en position postvocalique :

(138)	gâðal	« il est devenu grand »
(139)	giddel	« il a soulevé »
(140)	*giððel, *giðdel, *giðel, giddel	

Hayes (1986) a analysé des données tirées du tigrinya dont quelques exemples sont reproduits dans le corpus ci-dessous :

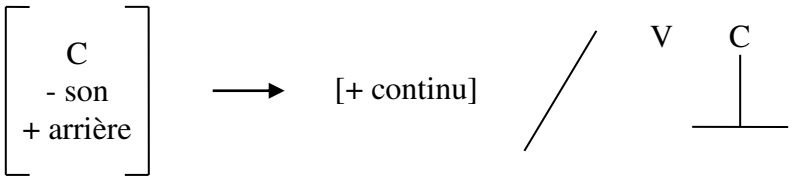
Tableau 4 : La spirantisation en position post-vocalique des occlusives en Tigrinya

	Singulier	Pluriel	
a	kʌlbi	ʔaxalɨb	« chien »
	gʌnʔi	ʔaɣanɨʔ	« terrain »
b	fʌkkʌrʌ	fʌkkʌrʌ	« il s'est vanté »
c	mɨrak-ka	mɨrax-ka	« veau, 2sg. masc. »
d	yɨ-t-kʌfʌt	yɨkkʌfʌt	« ouvrir, passive »

Dans cette langue, comme dans l'hébreu tibériade, les occlusives simples postvocaliques se spirantisent. Notons qu'en hébreu tibériade, le processus de la spirantisation

affecte toutes les consonnes occlusives (Sampson, 1973). En tigrinya, seules les consonnes vélaires se spirantisent. En revanche, la spirantisation n'affecte pas les géminées, même si la première moitié de ce segment est post-vocalique. Hayes (1986) postule la règle suivante pour rendre compte de ces données :

(12) La spirantisation en tigrinya :



Selon Hayes (1986), il est possible de prédire les règles phonologiques qui ne peuvent pas affecter les géminées. Il s'agit de règles qui mentionnent dans leurs descriptions structurelles la couche mélodique et la couche prosodique. Les règles qui échappent à l'inaltérabilité ne mentionnent qu'une seule de ces couches. Voici les critères établis par Hayes (1986) pour déterminer dans quels cas une règle doit mentionner une couche particulière :

a) Toute règle qui mentionne les traits distinctifs autres que le trait [syllabique] doit mentionner la couche mélodique.

b) Toute règle qui fait appel à une classe de consonnes ou une classe de voyelles doit mentionner la couche prosodique où la syllabicité est représentée.

c) Toute règle qui fait référence à la position au sein de la syllabe doit mentionner la couche prosodique.

Selon Hayes (1986), le nombre de couches mentionnées dans une règle ne doit pas être stipulé, mais découle naturellement de principes indépendants. Un aspect important caractérisant les règles qui mentionnent les deux couches est qu'elles incluent *les lignes d'association* dans leurs descriptions structurelles :

(13) Contrainte d'association *(Linking constraint)*:

« *Association lines in structural descriptions are interpreted as exhaustive.* »

Regardons à présent comment Hayes (1986) rend compte de la spirantisation en tigrinya (12). La règle mentionne les deux couches : la couche prosodique pour identifier la position post-vocalique et la couche mélodique pour identifier l'occlusive vélaire. Cette règle ne pourra pas s'appliquer aux géminées, car la description structurelle de cette règle fait référence à *une seule* ligne d'association entre la cible et son unité prosodique, la géminée

étant associée à deux unités prosodiques. Comme l'illustrent les représentations en (14 b, c), la contrainte d'association prédit la spirantisation du premier /k/ dans les formes :

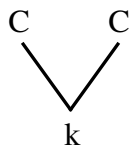
(141) merak-ka merax-ka

Ainsi que l'inaltérabilité des géminées issues d'une assimilation complète :

(142) yɨ-t-kʌfʌt yɨkkʌfʌt

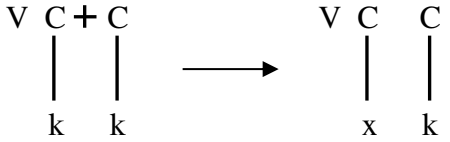
(14) a. Inaltérabilité de /kk/

(143) /fʌkkʌrʌ/ (*fʌxxʌrʌ)



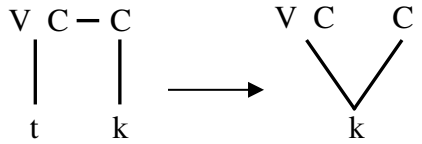
(14) b. Spirantisation de /k-k/

(144) /mɨrak-ka/ *mɨrax-ka*



(14) c. Inaltérabilité de /kk/ issu d'assimilation complète :

(145) /yɨ-t-kʌfʌt/ *yɨkkʌfʌt*



Schein & Steriade (1986) ont développé une analyse légèrement différente de celle de Hayes (1986). Selon eux, les règles qui s'appliquent aussi bien aux simples qu'aux géminées tendent à appartenir à une même classe de règles qui ne requièrent que des informations segmentales.

L'inaltérabilité des géminées est donc entièrement prédictible à partir de la façon dont les règles, qui s'appliquent aux simples, sont formulées. Ainsi, les structures (15) ci-dessous peuvent être affectées différemment selon la description structurelle de la règle.

(15) couche A a.α b.α

couche B β β γ

Si la règle affectant α impose des conditions qui sont satisfaites par β et non par γ, alors la règle ne pourra pas s'appliquer aux formes ayant la structure (15b). Si, en revanche, la règle affecte un élément α de la couche A et qu'aucune condition n'est imposée sur les éléments β associés à cet α, alors la règle s'appliquera aussi bien à (15a) qu'à (15b), sans distinction entre segments simples ou segments doublement liés.

Les effets de l'inaltérabilité des géminées ne sont pas limités à la spirantisation. Hayes (1986) a indiqué d'autres blocages dans les géminées. Se basant sur un travail effectué par Cowan & Yarmohammadi (1978) sur le persan, Hayes (1986) traite de la transformation de /v/ à /w/ qu'il nomme l'affaiblissement de /v/ (*« /v/-weakening »*) en position finale de la syllabe. De façon inattendue, l'affaiblissement de /v/ n'arrive pas à affecter /v/ en position finale de la syllabe à chaque fois qu'il constitue la première moitié d'une géminée, comme le montre le corpus ci-après :

(146)	/novru:z/	==>	nowru:z	« nouvel an »
(147)	/ǰæv/	==>	ǰæw	« à peine »
(148)	/ævvæl/			« premier »
(149)	/morovvæt/			« générosité »
(150)	/qolovv/			« exagération »

Un autre processus illustrant le comportement différent entre les simples et les géminées concerne le processus de dévoisement qui affecte les géminées, mais pas les simples. En tarifit, par exemple, la correspondante géminée de /ðˤ/ et /dˤ/ est /ttˤ/ et non /ddˤ/.

Ce phénomène est attesté dans d'autres langues, comme l'illustre le tableau suivant tiré de Kirchner (2000) :

Tableau 5 : description des processus de dévoisement affectant les géminées dans différentes langues (Kirchner, 2000)

Langue	Référence	Description du processus
Berbère	Saïb, 1977 Guerssel, 1977	Les obstruantes emphatiques voisées (contexte-libre), bloquées pour les géminées
Cuna	Sherzer, 1975	Voisement en position intervocalique, bloqué pour les géminées
Florentine Italienne	Giannelli & Savoia, 1979	En vitesse d'élocution rapide, les occlusives sourdes, qui se spirantisent aussi aux constrictives ou aux approximantes, se réduisent aux approximantes voisées, bloquées pour les géminées
Gallo-Romance	Bourciez & Bourciez, 1967	Changement de voisement : /t/ en position intervocalique devient voisée, bloquée pour les géminées
Malaylam	Mohanan, 1986	Les occlusives deviennent voisées dans le contexte / + son — V ou / + nas — ; bloquées pour les géminées
Tamil	Christdas, 1988	Voisement (et spirantisation) en position intervocalique, bloqué pour les géminées
Tümpisa Shoshone	Dayley, 1989	Les obstruantes non initiales sont voisées, bloquées pour les géminées

En ce qui concerne le tarifit, nous avons observé une autre sorte d'inaltérabilité. C'est le processus de l'amuïssement de la liquide /r/ en position *coda*, qui n'affecte pas les géminées correspondantes. Rappelons que Louali et Puech (1998) ont traité du statut du /r/ en position *coda* et ont montré que dans cette position /r/ rhotacise le noyau vocalique, l'allonge ou altère son timbre et sa structure (monophtongue ou diphtongue). Chtatou (1994) qualifie ce processus d'allongement compensatoire, identique à celui qui se manifeste dans les parlers anglais du sud de l'Angleterre (*cf.*, plus haut, Section : 1.2.17). On a constaté que ce processus était bloqué pour les géminées.

	aoriste			inaccompli	
(151)	/farħ/	==>	[fɑːħ]	/farrəħ/	« être heureux »
(152)	/farðˤ/	==>	[fɑːðˤ]	/farrəðˤ/	« balayer »
(153)	/ʁarm/	==>	[ʁɑːm]	/ʁarrəm/	« offrir »
(154)	/ʕarðˤ/	==>	[ʕɑːðˤ]	/ʕarrəðˤ/	« inviter »

La spirantisation en berbère

La gémination résiste à certaines règles, entre autres la spirantisation, comme par exemple β/*ββ β/bb. Ce phénomène est attesté en kabyle et en tarifit (en plus de l'hébreu). Pour l'expliquer, Elmedlaoui (1993) évoque le PDI, *le Principe de Développement Inertiel*, initié par Foley (1977). Le PDI gouverne un processus de fortition qui est la règle d'occlusivation. Parmi les principes du PDI, les deux ci-dessous ont été légèrement adaptés par Elmedlaoui (*ibid.* : 140) :

a. Les segments forts et les positions fortes ont priorité dans les processus de fortition de trait et dans la distribution des traits *fortis*.

b. Les segments faibles et les positions faibles ont priorité dans les processus d'affaiblissement de trait et dans la distribution des traits faibles.

Elmedlaoui, (1993) explique ce phénomène par deux processus historiques :

a. La réduction très importante du point de vue quantitatif d'un nombre considérable de géminées lexicales dans des environnements qui ne peuvent plus être « systématisés ».

b. L'emprunt, essentiellement aux dialectes arabes, d'un nombre important de mots contenant des occlusives simples sans les spirantiser. L'émergence d'occlusives simples, résultant des géminées, a facilité la non-spirantisation des occlusives simples des emprunts.

La spirantisation des occlusives a attiré beaucoup de linguistes, et, entre autres, a servi de facteur discriminant pour élaborer la classification des parlers berbères. Biarnay (1917), par exemple, considère la spirantisation des occlusives comme un des traits les plus importants qui permettent de distinguer les parlers du Nord des parlers chleuhs. Le tamazight et le tarifit sont considérés comme des parlers spirants et le chleuh comme un parler occlusif. Ridouane (2009) explique que les parlers chleuhs ne sont pas tous des parlers occlusifs. Le tachelhit parlé dans le Haut-Atlas spirantise la bilabiale sonore, les vélaires et les labiovélaires.

La spirantisation en tarifit, comme l'a indiqué Saïb (1977) sur le proto-berbère[5], entraine une modification des occlusives en constrictives dans un contexte libre, mais celle-ci est bloquée pour les géminées, contrairement à quelques langues, où la spirantisation est conditionnée par le contexte. Prenons l'exemple de l'hébreu tibériade (Malone, 1993). Les occlusives non emphatiques deviennent des constrictives en position postvocalique, mais la transformation est bloquée aussi pour les géminées. En tarifit, la labiale sonore /b/, les dentales /t, d/ et les vélaires /k, g/ se spirantisent. En revanche, selon Ridouane (2009), pour le tachelhit, les dentales ne se spirantisent pas.

Le tarifit présente une alternance entre les spirantes simples et les occlusives géminées comme dans l'exemple ci-dessous.

	aoriste	inaccompli	
(155)	arβu	arəbbu	« porter sur le dos »
(156)	ðər	ddar	« couvrir »
(157)	fθər	fəttər	« rouler »
(158)	sçəf	səkkəf	« aspirer »

Pour rendre compte de l'alternance spirante simple ~ occlusive géminée, illustrée ci-dessus, on a *a priori* le choix entre deux règles : une règle d'occlusivation ou une règle de spirantisation, selon le statut phonologique attribué aux constrictives. Comme signalé auparavant, différents auteurs considèrent que la direction historique du changement occlusive / constrictive ne peut plus rendre compte des données synchroniques. Ils postulent à l'inverse une règle d'occlusivation (constrictive => occlusive). Dans le parler rifain de Beni Iznassen, décrit par El Kirat (1987), les coronales simples /t, d/ se réalisent /θ, ð/ sauf quand elles sont immédiatement au contact de /m, n, l/, auquel cas les coronales simples restent occlusives. Les vélaires et leurs homologues labialisées se spirantisent dans tous les contextes. La gémination, comme en tachelhit, bloque la spirantisation. Un ensemble d'arguments justifie le statut phonémique des constrictives, selon El Kirat (1987).

1- Ces segments sont attestés dans la forme verbale de base, qui est la catégorie la moins marquée.

2- Le tarifit contient une grande quantité d'emprunts arabes qui sont intégrés au lexique local, tout en gardant l'aspect occlusif de leurs segments. Cette adaptation des occlusives sans les spirantiser a été facilitée par la réduction quantitative qui a affecté

[5] Le proto-berbère est la langue première dont toutes les langues berbères modernes sont issues. Elle fait partie à son tour de la famille afro-asiatique.

les géminées. Lorsqu'on compare le tachelhit au tarifit, on constate que la gémination est maintenue pour le tachelhit, mais pas pour le tarifit, comme le montrent les formes ci-après :

	tarifit	tachelhit
(159)	θaβrat	taβratt
(160)	θazzðat	tusditt
(161)	θaʒəddʒit	taɣlitt

3- L'argument majeur, selon El Kirat (1987), est que la spirantisation n'est plus un processus synchroniquement productif.

En tachelhit, la situation est différente, un ensemble d'arguments indique plutôt que les constrictives dérivent d'occlusives sous-jacentes. Selon Ridouane (2009), un premier argument est lié à la tendance universelle des langues à préférer les occlusives aux fricatives dans la structure sous-jacente. Un système phonologique avec une occlusive /k/ est plus naturel qu'un système contenant une constrictive /x/. L'existence de /x/ présuppose l'existence de sa contrepartie occlusive /k/ et non pas l'inverse. Un deuxième argument important est que les géminées occlusives labiales et vélaires en tachelhit restent géminées et se distinguent des constrictives simples aussi bien en termes de durée qu'en termes de mode d'articulation. Cela n'est pas le cas pour les occlusives géminées en tarifit ou en kabyle.

Les différents types de géminées ne réagissent pas tous de la même manière vis-à-vis de la spirantisation. Les géminées lexicales, et c'est là une tendance universelle, ne se spirantisent jamais. Les géminées issues d'une assimilation complète résistent aussi à l'application de cette règle. En revanche, les géminées issues d'une concaténation se spirantisent (Hayes, 1986).

Ridouane (2009) a mené une étude comparative des trois types de géminées du tachelhit. Il a démontré que :

a. les géminées lexicales présentaient les caractéristiques d'une articulation tendue ;

b. des différences existaient au niveau phonétique entre les géminées lexicales et issues d'une assimilation complète d'un côté et les géminées par concaténation de l'autre ;

c. la différence dans leur comportement vis-à-vis de la spirantisation était due aux différents types de géminées mentionnés ci-dessus. Une telle analyse phonétique est fournie dans Ridouane (2009). Les résultats d'un ensemble d'analyses acoustiques et

articulatoires montrent que la gémination lexicale est phonétiquement implémentée par différents corrélats, dont le principal est la durée.

Dans la phonologie CV, une géminée est représentée comme une seule unité mélodique associée à deux positions prosodiques. Les comportements des géminées, à savoir leur ambivalence, leur intégrité et leur inaltérabilité, ont été observés ; les traits suivants ont été retenus :

- Ambivalence : dans certains cas les géminées se comportent comme si elles constituaient deux segments, et dans d'autres, comme si elles n'en constituaient qu'un seul.
- Intégrité : dans la mesure où ils constituent deux segments, les segments longs ne peuvent pas être divisés par des règles d'épenthèses.
- Inaltérabilité : l'échec de certains processus phonologiques à modifier les géminées lexicales, tout en affectant les simples et les « fausses » géminées.

3 Dimension typologique de la gémination

Cette partie dresse une vue globale des études phonétiques sur la gémination dans diverses langues. Tout d'abord, seront présentés des travaux acoustiques et perceptifs qui ont permis de dégager des indices acoustiques responsables de la distinction entre consonnes simples et consonnes géminées. Ensuite, nous énumérerons les études articulatoires et physiologiques des géminées qui montrent des comportements différents aux niveaux glottique et supraglottique. Enfin, nous présenterons l'impact de la vitesse d'élocution sur les consonnes simples et les consonnes géminées.

3.1 Analyses perceptives et acoustiques

Dans la littérature traitant de la gémination, de nombreuses études portent sur la mise au jour des corrélats acoustiques et perceptifs de la gémination.

À titre d'exemple, Lahiri & Hankamer (1988) et Hankamer, *et al.* (1989) ont analysé la durée des occlusives sourdes simples et géminées dans deux langues différentes : le turc et le bengali. L'objectif de cette étude était de déterminer l'indice acoustique principal responsable de l'opposition entre ces deux types d'occlusives et de vérifier s'il s'agissait du même indice pour les deux langues. Leurs résultats montrent que la durée de l'occlusion est l'indice perceptif significatif qui permet de distinguer les simples des géminées. En revanche, le VOT ne permet pas, à lui seul, de différencier ces deux classes de consonnes. Pour le bengali et le turc, la durée de l'occlusion des géminées est significativement différente de celle des simples.

Ham (1998) a fait les mêmes remarques lors d'une analyse acoustique de la gémination dans quatre langues typologiquement différentes : l'arabe levantin, le hongrois standard, le madourais (parlé en Indonésie) et le bernois. La conclusion principale de cette étude est que ni la durée du VOT positif ni la durée du burst ne contribuent acoustiquement à l'opposition simple *vs.* géminée dans ces langues. Le seul indice acoustique qui permet de distinguer les simples des géminées est la durée de l'occlusion. Ladefoged & Maddieson (1996) sont allés dans le même sens en montrant que le corrélat phonétique le plus saillant des contrastes phonologiques entre les simples et les géminées réside dans la tenue consonantique. En moyenne, les occlusives géminées ont entre 1,5 à 3 fois plus de tenue consonantique que les occlusives simples en parole soignée : *« The most salient phonetic correlate of phonological contrasts between singleton and geminate consonants is closure duration. On average, long stops have between 1.5-3 times the closure duration of short stops in careful speech. »* (Ladefoged & Maddieson, 1996, p. 92).

Kraehenmann (2001) a présenté des preuves pour deux affirmations :

a) le contraste entre les occlusives dans les dialectes suisses alémaniques repose uniquement sur la quantité ;

b) au niveau acoustique, seule la durée de la tenue consonantique permet l'opposition consonnes simple *vs.* consonnes géminées.

Kraehenmann (2001) utilise les données de production et de perception pour les occlusives initiales, médianes et finales du thurgovien, un dialecte parlé dans le nord-est de la Suisse. L'auteur a montré que le modèle de neutralisation de l'opposition en position médiane de la phrase prend en compte les arguments suivants : lorsque la position de longueur phonologique supplémentaire d'une géminée n'est pas syllabifiable, les durées de la tenue consonantique raccourcissent, les géminées sous-jacentes et les simples deviennent difficiles à distinguer. Les données de perception, en particulier, permettent de montrer que la durée de la tenue consonantique est le facteur essentiel de l'opposition sous-jacente car, en l'absence de cet indice phonétique, les auditeurs ne peuvent plus discriminer une géminée sous-jacente d'une simple. Les résultats portent non seulement sur les questions centrales de la représentation des géminées mais aussi sur certaines subtilités de l'interface phonologique et phonétique.

McKay (1980) a mené une étude spectrographique pour déterminer la légitimité d'interpréter l'opposition des occlusives en rembarrnga (langue nord-australienne) comme étant une opposition entre géminées et simples plutôt qu'entre sourdes ou fortis et voisées ou lenis. La comparaison des durées d'occlusion pour les simples et les géminées montre clairement que les occlusives géminées sont largement plus longues que les simples. En plus de la durée de l'occlusion, McKay (1980) a aussi observé une variation de durée des voyelles qui précédent les occlusives. Les voyelles sont plus courtes devant les géminées que devant les simples. Cette différence n'est cependant pas significative. Les spectrogrammes montrent aussi que les géminées se caractérisent par un « burst » (ou explosion/frictions) remarquable au moment du relâchement. Ces caractéristiques, selon McKay (1980), peuvent être considérées comme des indicateurs d'une articulation forte. Les langues nord australiennes reflètent particulièrement bien le cas que nous traitons dans la partie précédente, notamment la difficulté d'interprétation des oppositions entre différentes séries d'occlusives : s'agit-il de géminées *vs.* simples ou de tendues *vs.* lâches, ou tout simplement d'une opposition de voisement ? Ces trois analyses différentes ont été une à une adoptées.

Les analyses acoustiques des géminées impliquent fréquemment la durée, mais un nombre important d'autres corrélats phonétiques a été signalé. Parmi ces corrélats, on trouve l'amplitude du burst, la fréquence fondamentale et la qualité des voyelles adjacentes. Ce phénomène a déjà été mentionné dans d'anciens travaux. Signalons, par exemple, un travail pionnier de Lisker (1958) qui a montré que les différences de durée sont combinées avec des différences de voisement et de tension pour les occlusives du tamil. Par la suite, ce même phénomène a fait l'objet d'études dans Abramson (1987, 1998) sur le pattani malais. Lahiri et Hankamer (1988) et Hankamer, *et al.* (1989) ont étudié le même phénomène pour le turc et le bengali *(cité supra).*

Esposito & Benedetto (1999) allient des considérations théoriques aux résultats d'analyses acoustiques et perceptives. Ils ont fait l'hypothèse que la durée de la tenue consonantique est le principal indice de la gémination en italien. Les résultats d'une analyse acoustique d'un grand nombre de consonnes simples et géminées de l'italien mettent en évidence deux corrélats acoustiques de la gémination : la longueur de la tenue consonantique et la longueur de la voyelle précédant la consonne. D'autres paramètres acoustiques ne sont pas systématiquement liés à la gémination. Ces résultats ont été validés au niveau perceptif. Au niveau de la perception, les indices ci-dessus ont été utilisés par les auditeurs pour la discrimination simple/géminée. À ce niveau, la durée de la tenue consonantique jouait un rôle majeur. En outre, il a été constaté que l'allongement significatif de la consonne n'a été que partiellement compensé par la réduction de la voyelle précédente et par un petit allongement de l'énoncé de la géminée, par rapport à celle de la simple. Ce résultat suggère que les intervenants suivent une sorte de timing (rythme) qui est fixe dans le temps et dépend du nombre de syllabes dans le mot. Les mots avec un nombre égal de syllabes ne changent pas la longueur de l'occurrence, un segment allongé étant en partie compensé par le raccourcissement de l'autre. Ce processus semble être appliqué également au niveau perceptif, ce qui suggère que le timing (rythme) d'une langue est aussi une attitude auditive.

Arvaniti & Tserdanelis (2000, 2001) et Arvaniti (2001) ont effectué plusieurs mesures incluant la durée des consonnes simples et géminées, la durée de la voyelle précédente, l'amplitude RMS des géminées, ainsi que les différences spectrales des voyelles précédant et suivant les géminées (plus particulièrement le F1 et le F2 de ces voyelles). Les résultats obtenus montrent que la durée est le corrélat le plus robuste et le plus consistant permettant de distinguer les simples des géminées. Aucune différence n'a été relevée en terme d'amplitude entre les simples et les géminées. La gémination n'affecte pas non plus ni la durée de la voyelle précédente, ni la qualité des voyelles précédant ou suivant la consonne géminée.

Payne & Eftychiou (2006) ont examiné les variations de la durée des géminées alvéolaires et latérales lexicales et post-lexicales sous différentes conditions de l'accent. Leurs résultats révèlent que les géminées lexicales sont beaucoup plus longues que les géminées post-lexicales, et que les deux catégories (simples et géminées) sont plus longues en position initiale. La différence de durée est robuste dans toutes les conditions, et particulièrement pour les géminées lexicales en position initiale. Les géminées lexicales et les géminées post-lexicales sont significativement plus longues quand elles sont en position pré-accentuelle. Les géminées en position initiale sont plus longues quand elles sont précédées d'une nasale en position finale. Par conséquent, cela crée une sorte de consonne « super-géminée » et indique que les nasales en position finale ne sont pas supprimées.

Cohn et *al.* (1999) ont analysé les caractéristiques de durée dans l'opposition simples *vs.* géminées présentes dans trois langues indonésiennes : le bougi, le madourais et le toba batak. Les géminées se caractérisent par une durée plus longue que les simples. Le VOT ne contribue pas à la distinction de longueur dans les trois langues. Dans les trois langues en revanche, la voyelle précédant les géminées a une durée clairement plus brève que lorsqu'elle est devant une simple.

Hassan (2002) a mené une étude instrumentale et comparative des consonnes simples et géminées en suédois et en arabe en se focalisant sur la durée de la voyelle précédente. Les résultats obtenus indiquent, dans les deux langues, une durée plus importante pour les géminées que pour les simples. De plus, en suédois, les voyelles précédant les simples ont une durée nettement plus longue par rapport aux voyelles précédant les géminées. En revanche, la différence de durée des voyelles n'a pas été significative en arabe. Ces résultats appellent quelques remarques, relatives principalement au système vocalique dans les deux langues. Le système vocalique suédois, traditionnellement considéré comme un système à 9 voyelles, oppose les longues aux brèves. Les voyelles longues sont situées devant les consonnes simples et les brèves devant les géminées ou devant les séquences de deux consonnes successives. Il s'agit là de la distribution complémentaire des quantités. Les mêmes faits de « distribution complémentaire des quantités » ont été observés par Sock *et al.* (1996) et Sock (1998) lors d'une étude cinématique et acoustique des corrélats de la quantité en suédois et en wolof du Sénégal. Les résultats obtenus dans cette étude montrent qu'en suédois la voyelle est longue en position finale, ou quand elle est suivie d'une consonne brève dans un contexte VVC. Elle est brève quand elle est suivie d'une consonne longue dans un contexte VCC. En revanche, le wolof de Gambie n'a pas montré cette distribution complémentaire des quantités.

Les voyelles brèves et longues du wolof de Gambie sont toujours suivies d'une consonne simple VC ou VVC.

Sur la gémination en japonais, Kawahara (2012) cite, parmi les travaux menés sur les corrélats secondaires de la gémination, certains auteurs que nous mentionnons ci-après. Ces auteurs ont montré que les voyelles sont plus longues devant les géminées que devant les simples (Campbell, 1999 ; Fukui, 1987 ; Han, 1994 ; Hirata, 2007 ; Hirose & Ashby, 2007 ; Idemaru & Guion, 2008 ; Kawahara, 2006 ; Ofuka, 2003 ; Port *et al*., 1987 ; Takeyasu, 2012). Port *et al*. (1987), par exemple, trouvent que le [ɯ] dure en moyenne 68 ms devant les simples et 86 ms devant les géminées. Contrairement aux simples, les voyelles suivantes sont moins longues après les géminées (Campbell, 1999 ; Han, 1994 ; Hirata, 2007 ; Idemaru & Guion, 2008 ; Ofuka, 2003). Selon Idemaru & Guion (2008), la moyenne de la durée de la voyelle qui suit les géminées est de 63 ms, tandis que celle qui suit les simples est de 76 ms. En ce qui concerne le VOT, Han (1994) affirme que le VOT des géminées est légèrement moins long que celui des simples.

Kawahara (2006) a montré, dans un travail sur trois locuteurs, que les occlusives géminées sonores sont généralement « semi-dévoisées » en japonais, et cela, à cause de contraintes aérodynamiques : si le voisement est présent tout au long de la tenue consonantique de [g], il s'arrête au milieu de la tenue totale de [gg] (40% de voisement sur l'ensemble de la tenue totale). Hirose & Ashby (2007) ont appliqué la même méthode. Ils ont trouvé une moyenne de 47% de voisement sur la tenue totale. Contrairement aux résultats obtenus par Cohn *et al*. (1999) sur le bougi, le madourais et le toba batak, Hirose et Ashby (2007) ont observé que le voisement des géminées occlusives se maintient durant toute la durée de l'occlusion.

Pour les études menées sur le berbère, il est important de signaler les résultats des travaux de Ridouane (2003) sur cinq locuteurs du parler tachelhit. Ces travaux prennent en considération des mesures d'un ensemble de paramètres temporels et non temporels. Ridouane (2003) a obtenu des résultats que nous présentons ci-dessous.

Tout d'abord, la durée (de l'occlusion pour les occlusives) est le paramètre principal qui permet de distinguer les simples des géminées. Ce paramètre est présent pour toutes les consonnes et dans toutes les positions. Les mesures de débit d'air oral ont montré que ce paramètre permet de distinguer acoustiquement les occlusives sourdes simples des géminées, en position initiale absolue aussi, même si cette différence n'est pas perçue.

Ensuite, la durée du VOT ne permet pas de distinguer les occlusives sourdes simples de leurs contreparties géminées. Les occlusives sonores géminées, selon les positions et les locuteurs, présentent parfois des durées de VOT significativement plus longues que celles de leurs contreparties simples. L'allongement du VOT est dû au dévoisement qui les affecte et donc indirectement à leurs durées d'occlusion plus longues.

De plus, la voyelle tend à s'abréger lorsqu'elle précède une consonne géminée, plus particulièrement une occlusive géminée ou une fricative. Ridouane (2003) a observé néanmoins des variations selon les locuteurs. L'aspect simple ou géminé des obstruantes n'a aucun effet sur la durée de la voyelle suivante.

De surcroît, aucun paramètre acoustique non temporel n'indique de différence systématique entre les simples et les géminées. Ce constat reste valable, même s'il a été observé que les occlusives simples ont parfois tendance à se produire avec une occlusion incomplète et parfois sans burst, principalement pour les simples sonores. Toutes les occlusives géminées sont en revanche produites avec une occlusion complète et un burst très net. Ainsi, ces deux aspects sont considérés comme une manifestation d'une articulation forte caractérisant ces segments, par opposition aux simples réalisées avec une articulation moins forte. Le dévoisement partiel affecte certaines géminées. Son importance varie selon les locuteurs, les lieux d'articulation et le contexte. Ridouane (2003) attribue ce dévoisement partiel à l'augmentation de la pression intraorale concomitante à l'augmentation de la durée de l'occlusion des géminées sonores. Par ailleurs, la gémination n'a eu aucun effet sur les valeurs formantiques des voyelles adjacentes. Des différences significatives ont été observées en comparant les valeurs formantiques des voyelles selon les différents lieux d'articulation des consonnes adjacentes.

Enfin, aucune différence de durée n'a été observée entre les géminées tautomorphémiques, les géminées issues d'une concaténation et celles qui résultent d'une assimilation complète. La durée de la voyelle précédente est également identique. Elle est plus longue uniquement pour un locuteur qui réalise la voyelle précédant les géminées issues d'une concaténation avec une durée significativement plus longue. La durée de cette voyelle est presque la même que celle qui précède les segments simples.

Sur le plan acoustico-perceptif, nous avons mentionné quelques travaux menés sur différentes langues qui possèdent la distinction simple / géminée afin de dégager les indices acoustiques responsables de cette opposition. Plusieurs tests ont été effectués sur plusieurs paramètres comme la durée des voyelles adjacentes, la durée de l'occlusion, la durée du VOT, la durée des fricatives, l'amplitude du burst et la fréquence fondamentale de la voyelle suivante. Ces auteurs ont dégagé plusieurs indices qui permettent de distinguer les simples des géminées. La plupart des travaux cités trouvent que la durée de la tenue consonantique est l'indice principal pour distinguer les deux catégories. D'autres indices trouvés sur certaines langues restent secondaires.

3.2 Analyses articulatoires

La plupart des investigations menées dans le domaine de la phonétique articulatoire tâchent de savoir si la production de consonnes géminées implique une ré-articulation de la consonne ou non. Comme le précise Ridouane (2003), nous avons affaire à une question qui a longtemps préoccupé des chercheurs pionniers en production de la parole. Selon ces chercheurs, l'indice de prédilection servant à distinguer les consonnes géminées des consonnes longues était la ré-articulation. Pour certains, ce qui caractérisait les géminées était la ré-articulation de la consonne, celle-ci comportant deux phases. La première phase occuperait la position finale de la syllabe et la seconde l'attaque de la syllabe suivante. Pour d'autres, il était inutile de retenir l'existence de deux phases articulatoires, puisqu'il n'y aurait aucune différence entre consonnes longues et consonnes géminées.

Parmi ces chercheurs pionniers, on peut citer Sievers (1876) qui, en retenant des considérations perceptives et kinesthésiques, fut le premier à avoir proposé la notion de ré-articulation des géminées. Quelques années plus tard, Rousselot (1891) devait réfuter cette notion de ré-articulation des géminées, en se fondant sur ses données kymographiques pour des consonnes géminées d'un dialecte gallo-roman. Ses dernières ne présentaient pas de caractéristiques de consonnes doublement articulées. Cependant, l'étude de Stetson (1951) sur les géminées hétéromorphémiques de l'anglais a permis de mettre au jour une double articulation lors de la production des géminées /p+p/. En effet, les courbes correspondant à la pression intra-orale ont nettement indiqué deux maxima pour les labiales géminées. Cependant, Hegedüs (1959) n'a trouvé aucun indice qui puisse démontrer la ré-articulation des géminées à partir de mesures acoustiques de la courbe de l'intensité pour les simples *vs.* les géminées tautomorphémiques.

Précisons toutefois que Hegedüs (1959) avait analysé des consonnes tautomorphémiques, tandis que d'autres auteurs avaient plutôt analysé des géminées séparées par une frontière de mot. Afin de pouvoir comparer des choses comparables, Lehiste *et al.* (1973) se sont proposés d'étudier deux types de géminées dans le cadre d'une même langue. Leur étude a été faite à partir de données électromyographiques pour l'estonien et l'anglais. L'électromyographie avait été retenue pour déterminer si les géminées impliquent une ré-articulation ou non. La langue estonienne offre, d'une part, la possibilité de comparer les géminées tautomorphémiques avec les géminées hétéromorphémiques. Elle permet, d'autre part, de comparer les géminées aux super-géminées parce que cette langue présente un système à trois degrés de longueur consonantique (brève *vs.* longue *vs.* extra-longue). Nous reviendrons à quelques détails relatifs à cette étude ainsi qu'aux résultats, *infra*.

Delattre (1971) a analysé les corrélats acoustiques et articulatoires de la gémination consonantique dans quatre langues : l'italien, l'anglais, le français et l'espagnol. Le corpus analysé par Delattre contient des géminées aussi bien tautomorphémiques qu'hétéromorphémiques. Les formes anglaises contiennent, entre autres formes, le triplet suivant « *it will end* », « *it will lend* » et « *we lend* ». Dans les quatre langues, c'est la durée de la consonne qui contribuerait le plus à la gémination. Il y aurait cependant d'autres facteurs tels que l'intensité et la tension des cordes vocales qui joueraient un rôle significatif dans l'émergence de la gémination. Delattre a également utilisé la méthode cinéradiographique pour observer des mouvements articulatoires par rayons-X. Il a ainsi démontré que les géminées nécessitent deux phases articulatoires. La première phase contiendrait les traits d'une consonne finale. La seconde comprendrait les traits d'une consonne initiale. La cinéradiographie a aussi permis de détecter deux mouvements anticipatoires. La première phase se caractériserait par une anticipation consonantique (la deuxième partie de la géminée). La seconde se caractériserait, elle, par une anticipation de la voyelle suivante. La pression de la langue serait différente selon les deux phases, celle-ci étant plus faible lors de la première phase de l'articulation. Les mesures d'intensité effectuées par Delattre (1971), à partir de spectrogrammes, montrent que la variation de l'intensité jouerait également un rôle important dans la distinction des consonnes simples et des géminées. Cependant, la durée reste l'indice le plus important dans l'opposition linguistique de ces consonnes. Delattre a également procédé à des analyses perceptives qui confirment la prédominance de la durée comme indice principal dans la perception des géminées.

Dans l'étude de Lehiste *et al.* (1973), évoquée *supra*, le quadruplet estonien suivant : /taba/ / tapa/ /tappa / /lapp peal / a été analysé. Les consonnes bilabiales de ce quadruplet

sont toutes des occlusives sourdes. /b/ est une labiale simple sourde (*sic*), /p/ une géminée courte et /pp/ une géminée longue. Ils ont effectué des enregistrements électromyographiques, associés à l'occlusion labiale, et des mesures de pression d'air intra orale. Les données de l'estonien montrent que la durée de l'occlusion différencie clairement les simples des géminées et des super-géminées. Le nombre de sommets sur les courbes électromyographiques (sommets EMG) permet aussi de distinguer les géminées des super-géminées, ainsi que les simples des géminées. En ce qui concerne l'opposition super longues et géminées hétéromorphémiques, la différence ne semble pas significative. Dans la paire /tappa/ *vs.* /lapp peal/, seule l'amplitude du sommet EMG semble différencier les deux formes. Mais cela est probablement dû au fait que la deuxième syllabe de /tappa/ n'est pas accentuée tandis que le deuxième mot de /lapp peal/ l'est. En outre, le contexte, *ceteris paribus*, n'est pas contrôlé.

La différence entre les géminées courtes et les géminées longues serait clairement établie. Elle se manifeste, en plus de la durée, par le nombre de sommets EMG sur les courbes électromyographiques. En ce qui concerne l'aspect réarticulé des géminées, l'étude de Lehiste *et al.* (1973) apporte des observations qui confirment la double articulation lors de la production des géminées en estonien (courtes, longues, ainsi que la séquence CC+C). Contrairement aux observations faites par Delattre (1971), les géminées en anglais ne sont pas réalisées avec une double articulation.

Parmi les travaux menés sur des consonnes doubles, nous pouvons citer à titre d'exemple l'étude cinéradiographique de Vaxelaire (1995b) sur des consonnes simples et doubles du français. Vaxelaire montre que l'étendue de contact (la zone de contact palais/langue) est plus importante pour les occlusives longues que pour les occlusives brèves. En vitesse d'élocution rapide, les différences au niveau de l'étendue de contact s'accroissent puisqu'une augmentation nette de l'aire de contact entre la langue et le palais est observée notamment pour les occlusives longues.

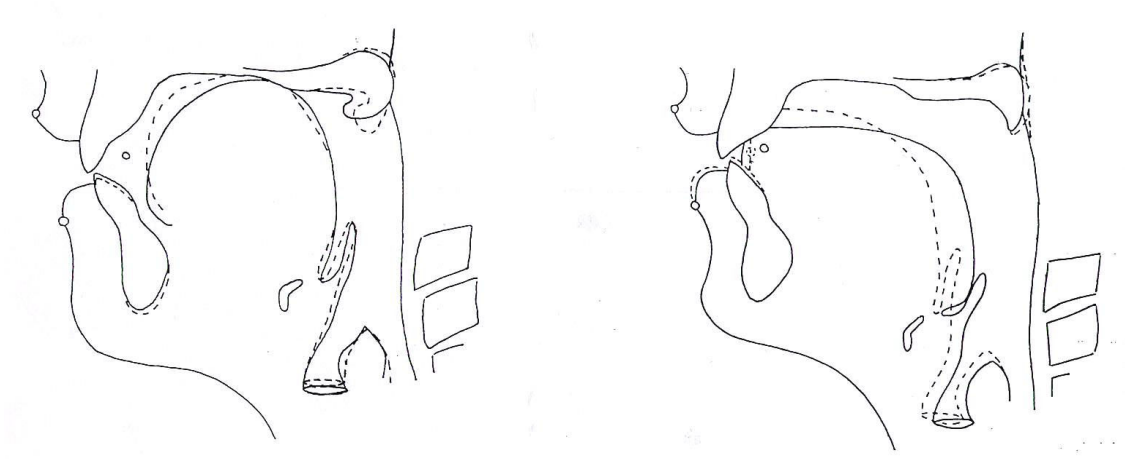


Figure 3 : coupes sagittales du conduit vocal pour /aka/ (lignes continues) *vs.* /akka/ (lignes discontinues), en vitesse d'élocution normale (à gauche) et pour /ada / (lignes continues) *vs.* /adda/ (lignes discontinues), en vitesse d'élocution normale (à droite). D'après Vaxelaire, (1995a).

Les mesures obtenues des profils sagittaux, en vitesse d'élocution normale, montrent que les étendues de contact correspondent à chaque fois à la valeur maximale de contact : lèvre-lèvre et langue-palais (apex et dos). Les étendues pour les consonnes doubles, hétéromorphémiques homorganiques, sont égales ou éventuellement plus longues que celles des simples. Des résultats similaires ont été relevés dans le travail de Bouarourou *et al.* (2008) présentant une étude cinéradiographique sur les consonnes simples et les consonnes géminées du tarifit. Nous y reviendrons dans le chapitre 11.

Les études électropalatographiques sur les consonnes occlusives de l'italien montrent que le contact entre la langue et le palais est plus large pour les géminées que pour les simples. Aussi y-a-t-il une augmentation générale du contact de la langue avec le palais lors de l'augmentation de la durée de l'occlusion (Farnetani, 1990). Des résultats comparables ont été obtenus et présentés par Byrd (1995) pour l'anglais américain, par Kraehenmann & Lahiri (2008) pour le suisse alémanique et par Ridouane (2007) pour le tachelhit.

Payne (2006) a présenté des résultats d'une enquête électropalatographique de la gémination consonantique de l'italien. Les résultats suggèrent une articulation plus palatalisée des géminées sonantes coronales et occlusives que leurs homologues non géminées. Une différence est également constatée pour l'articulateur actif, qui présente une caractéristique articulatoire laminale pour la production des géminées, et apicale pour la production des non-géminées.

Dunn (1993) a étudié les mouvements des lèvres pendant la tenue des consonnes longues et courtes de l'italien et du finnois, en utilisant les mesures dérivées de l'aperture des lèvres. Elle a trouvé que les lèvres restent en contact plus longtemps pour les sons longs, le

mouvement cinématique n'étant pas remarquablement différent pour les consonnes longues par rapport aux consonnes courtes. Smith (1995) a fait une étude reliée à cette dernière. Elle a examiné les mouvements des lèvres et de la langue pour les consonnes simples et les consonnes géminées du japonais et de l'italien. Ses résultats indiquent que les mouvements de fermeture des lèvres sont plus lents pour les géminées que pour les simples.

Gili-Fivela *et al.* (2007) ont réalisé des études articulatoires sur le contraste de la longueur des consonnes simples et géminées de l'italien. Ces auteurs se sont focalisés sur la cinématique des lèvres et de la langue. Leur objectif était de tester directement des hypothèses sur l'organisation gestuelle des consonnes géminées et de recueillir des observations sur la position possible des objectifs gestuels des consonnes simples et géminées. Leurs données montrent que les géminées de l'italien semblent être mieux expliquées par un modèle hybride qui utilise à la fois le modèle de Öhman (1966) « Voyelle à Voyelle » et celui de Browman & Goldstein (1986) « Voyelle Consonne ». Concrètement, certains de leurs résultats montrent une stabilité du cycle vocalique de « Voyelle à Voyelle », que la cible consonantique soit simple ou géminée, alors que d'autres montrent une variabilité de ce cycle vocalique. De plus, les données confirment en partie l'existence d'un objectif virtuel plus élevé chez les géminées par rapport aux simples.

Pour ce qui concerne le berbère, il est important de mentionner les recherches de Ridouane (2007) sur le tachelhit. Dans ses travaux, Ridouane démontre, à l'aide de l'électropalatographie, que les différences de durée valent même pour les occlusives sourdes après pause. Cette distinction temporelle est *renforcée* par des corrélats secondaires comme l'abrègement de la voyelle précédente, l'amplitude du relâchement, le dévoisement des géminées occlusives, le maintien systématique d'une occlusion complète, etc. Ces corrélats sont interprétés comme des manifestations de la force articulatoire qui caractérisent ces segments. En ce qui concerne la comparaison entre les différents types de géminées, les résultats montrent que les trois types de segments présentent pratiquement les mêmes durées (ce qui soutiendrait leur représentation identique au niveau du palier prosodique, si l'on interprète ces positions comme des unités de durée). En revanche, des différences notables ont été observées entre les géminées lexicales et celles issues d'une assimilation complète d'un côté, et les géminées par concaténation de l'autre. Tandis que les géminées par assimilation, comme les géminées lexicales, sont renforcées par les attributs acoustiques de la force articulatoire (abrègement de la voyelle, amplitude du relâchement, etc.), les géminées par concaténation ne le sont pas. Il y a donc lieu de distinguer les vraies géminées, phonétiquement implémentées par des corrélats secondaires, responsables de leur aspect

tendu, des fausses géminées qui résultent uniquement de l'adjacence entre deux segments identiques (Hayes, 1986).

Nous proposons de nous attarder un peu plus ici sur quelques travaux de Löfqvist & Gracco (1997 ; 2002) et de Löfqvist (2005 ; 2006 ; 2007 ; 2009). Leurs résultats semblent particulièrement pertinents pour illustrer nos propos sur le contrôle de l'opposition simple *vs.* géminée.

À l'aide de données cinématiques, Löfqvist & Gracco (1997) ont analysé des événements moteurs durant la production d'occlusives bilabiales, couplées avec des informations sur la pression d'air orale, et la force de contact labial. Leurs résultats montrent que la vélocité du mouvement des lèvres était plus élevée durant la tenue consonantique avec une cible pour les lèvres qui pouvait correspondre à une région d'ouverture labiale. Une telle stratégie de contrôle laisse penser que les lèvres formeraient un ensemble hermétique indépendamment de toute variabilité contextuelle. Löfqvist & Gracco (2002) ont appliqué la même expérience sur le mouvement de la langue, chez quatre sujets, au cours de la production de consonnes occlusives vélaires et alvéolaires. L'intérêt était d'examiner les événements cinématiques avant, pendant et après la tenue consonantique. Les résultats obtenus sont semblables à ceux qu'ils ont obtenus sur les lèvres. La langue se déplace souvent à une vitesse élevée au début de la fermeture. Le mouvement de la langue était plus complexe, avec des composants à la fois horizontaux et verticaux. La vitesse du mouvement de fermeture et de relâchement des occlusives est influencée à la fois par les voyelles précédentes et par les voyelles qui suivent. Pendant la tenue consonantique, la langue se déplace à travers une trajectoire généralement de moins de 1 cm. L'ampleur du mouvement est encore dépendante du contexte. Globalement, la langue adopte des trajectoires antérieure/postérieure. Ces résultats sont compatibles avec l'idée que les mouvements de la langue sont libres pendant la fermeture tant que celle-ci est hermétique. Une nouvelle interprétation repose sur le principe d'effort minimal qui avait été appliqué, avec succès, dans certaines études des mouvements de la main lors de la préhension (*cf.* Jeannerod (1988) ou Berthoz (1997)).

Löfqvist (2005) a mené une étude cinématique de la production des consonnes occlusives et fricatives labiales. Dans cette étude, Löfqvist prend en considération les lèvres et la mâchoire pour lesquelles la durée de la fermeture/constriction des consonnes orales varie à des fins linguistiques. Les sujets sont des locuteurs japonais et suédois. Les deux langues possèdent un contraste entre consonnes courtes et consonnes longues. Les mouvements des lèvres et de la mandibule ont été enregistrés à l'aide d'un magnétomètre. Löfqvist (2005) part de travaux antérieurs qui montraient que les lèvres se déplaçaient à une vitesse élevée lors de

la fermeture. Il a émis l'hypothèse que les locuteurs pouvaient contrôler la durée de la tenue consonantique et de la constriction en faisant varier la position d'une cible virtuelle pour les lèvres. Selon cette hypothèse, la position du pic vertical de la lèvre inférieure, lors de la fermeture / rétrécissement, devrait être plus haute pour les consonnes longues que pour les courtes. Cela se traduirait par un contact labial plus long. Les résultats montrent que ce n'est pas le cas pour les sujets japonais et un sujet suédois qui produisent des durées de fermeture et de constriction sans chevauchement entre les deux catégories. Cependant, la vitesse du mouvement d'élévation de la lèvre inférieure ne diffère pas entre les deux catégories. Ainsi, si les mouvements des lèvres lors de la production de la parole sont contrôlés en spécifiant une cible virtuelle, le contrôle doit impliquer des variations dans la position et le timing de la cible.

Löfqvist (2006) a également procédé à des analyses de la coordination des mouvements des lèvres et de la langue dans des séquences voyelle-consonne bilabiale-voyelle. Dans ces séquences, la durée de fermeture de la consonne orale varie dans un objectif linguistique. Les sujets étaient des locuteurs natifs japonais. Le corpus se composait de paires de mots japonais qui ne différaient que par la durée de la consonne labiale. Cette dernière était soit longue, soit courte. Les mouvements des lèvres et de la langue ont été enregistrés avec un magnétomètre. Les résultats montrent une différence de la durée de fermeture entre les consonnes longues et courtes. Le mouvement de la langue de la première à la deuxième voyelle avait une durée plus longue pour les consonnes longues que pour les brèves. Sa vitesse moyenne était plus lente pour la consonne longue. La taille de la trajectoire du mouvement de la langue entre les voyelles n'est pas systématiquement différente entre les consonnes longues et courtes. Le mouvement de la langue débute presque toujours avant la fermeture labiale pour la consonne, tandis que le début du mouvement d'occlusion des lèvres, dans la plupart des cas, commence avant le début du mouvement de la langue. La fin du mouvement de la langue a lieu après le relâchement de la fermeture, mais aucune tendance claire n'a émergé pour les consonnes longues et courtes.

Löfqvist (2007) a étudié aussi les mouvements de la langue pour les consonnes occlusives et fricatives, dans des conditions similaires à l'étude menée en 2006, citée *supra.* Les résultats montrent une différence robuste dans la durée de fermeture pour les consonnes longues et courtes. Globalement, lors de la production de la consonne, la trajectoire du mouvement de la langue a été plus longue pour la consonne longue que pour la consonne courte. Aussi, la vitesse du mouvement de la langue a diminué chez tous les locuteurs lors de la production de la consonne longue. Ces ajustements dans les mouvements de la langue

étaient les plus susceptibles de maintenir le contact entre la langue et le palais, lors de la fermeture et/ou de la constriction.

Toujours dans les mêmes conditions que ses études antérieures (relatées *supra*), Löfqvist (2009) s'est consacré à l'étude de la coarticulation linguale voyelle-à-voyelle dans la séquence voyelle-consonne bilabiale-voyelle. Dans cette séquence, la durée de la tenue consonantique est soit longue, soit courte. Il a émis l'hypothèse qu'il y aurait davantage de coarticulation de voyelle-à-voyelle dans le contexte d'une consonne brève, puisqu'une consonne longue demanderait un mouvement lingual plus long. L'ensemble des résultats ne corroborent cependant pas cette hypothèse. Toutefois, les sujets modulent la vitesse du mouvement de la langue entre les deux voyelles, ce qui la rend plus lente durant la production des consonnes longues que durant la production des consonnes brèves.

Une autre étude sur des géminées (à comprendre « consonnes doubles »), effectuée par Benguerrel *et al.* (1978), peut être citée. Cette recherche a examiné, entre autres, les ajustements glottiques pendant la production des occlusives et fricatives du français, à partir d'un corpus réalisé par deux locuteurs. L'étude repose sur une analyse acoustique, fibroscopique et électromyographique en se focalisant plus spécifiquement sur les aspects suivants : sonore *vs.* sourde, accentuée *vs.* non accentuée, position initiale *vs.* position finale et simple *vs.* géminée. Signalons que les géminées examinées par Benguerrel *et al.* sont des géminées séparées par des frontières de mot, le français n'opposant pas les consonnes simples aux géminées à l'intérieur du mot. Benguerrel *et al.* (1978) ont analysé, entre autres, le corpus suivant : /terrible/ /c'est éristique/ /c'est terrible/ /sept terrines/.

Pour ce qui concerne l'opposition simple *vs.* géminée, ces chercheurs trouvent une différence assez remarquable en termes de degré d'ouverture de la glotte. Les géminées se réalisent avec une glotte plus ouverte que les simples. L'ouverture maximale de la glotte, atteinte pendant l'occlusion orale des occlusives sourdes simples, est une fonction de la durée de l'ouverture glottique (et de la durée de l'occlusion orale qui est concomitante). En d'autres termes, 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. Pour les géminées, en revanche, l'ouverture maximale atteinte n'est pas liée, selon les auteurs, à la durée de l'ouverture glottique ou de l'occlusion orale.

Ces mêmes résultats ont été confirmés dans les travaux de Ridouane (2003) portant sur des occlusives géminées, en relation avec la largeur de l'ouverture glottique. Selon lui, deux hypothèses peuvent expliquer pourquoi les occlusives géminées sont systématiquement produites avec une ouverture glottique aussi large. La première hypothèse est que le degré de

l'ouverture glottique est une fonction de la durée de l'ouverture glottique pour les occlusives. Autrement dit, plus la durée de l'ouverture glottique est longue, plus son amplitude est importante. Une deuxième hypothèse est de postuler que la largeur de l'ouverture glottique 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. Une autre question, liée à la première, concerne l'intérêt phonétique ou phonologique d'une telle ouverture systématique. Ridouane (2003) rappelle que d'un point de vue biologique, le contrôle de l'ouverture glottique est généralement partie intégrante d'autres activités comme la respiration, les réflexes de protection, ou la parole. Louali & Puech (1994) ont analysé la pression intraorale lors de la tenue des occlusives géminées sourdes et ont montré que ces occlusives géminées sourdes nécessitent effectivement une augmentation de la pression orale. À noter que Löfqvist *et al*. (1981) ont également démontré que l'augmentation de la pression intraorale est étroitement liée à la largeur de l'ouverture glottique.

Sur le plan articulatoire et physiologique, nous avons mentionné quelques travaux menés sur différentes langues qui possèdent la distinction simple / géminée, afin de dégager les indices articulatoires responsables de cette opposition. Différentes méthodes ont été testées sur le phénomène de la gémination aux niveaux glottique et supraglottique. La méthode fibroscopique permet de tester la durée et le degré d'ouverture glottale pendant la tenue des consonnes simples et des consonnes géminées. Quant à la méthode électromyographique, elle s'appuie sur le nombre de sommets des courbes pour distinguer les simples des géminées et pour vérifier si les géminées impliquent une ré-articulation ou non. En ce qui concerne la méthode électropalatographique, elle est utilisée pour déterminer la durée et l'étendue du contact entre la langue et le palais. Enfin, la méthode cinématique vise à observer les différents contacts et les différents mouvements des articulateurs, afin de comparer les consonnes simples aux consonnes géminées.

Les principaux résultats sont les suivants : a) une durée acoustique de la tenue consonantique plus longue pour les géminées ; b) des occlusions (contacts ou étendues de contact) plus longues pour les géminées ; c) une forte augmentation de la pression intraorale ; un mouvement de la langue de la première à la deuxième voyelle ayant une durée plus longue pour les consonnes longues que pour les brèves.

3.3 Les consonnes géminées en vitesses d'élocution normale et rapide

Il s'agit maintenant de tester la robustesse des oppositions simples *vs.* géminées avec la variation de la vitesse d'élocution. Rappelons que l'augmentation de la vitesse d'élocution est un moyen de prédilection pour apprécier l'élasticité des segments phonétiques et phonologiques (voir, par ex., Gaitenby (1965) ou Sock (1998)).

Ainsi, plusieurs études ont examiné les consonnes simples et les consonnes géminées en vitesses d'élocution normale et rapide pour observer l'impact de la vitesse d'élocution, en tant que perturbateur du contrôle temporel des segments consonantiques.

Arvaniti (1999) a mené une étude acoustique des sonantes simples et géminées (/ m, n, l, r/) du grec chypriote en vitesses d'élocution normale et rapide, comparées à des sonantes du grec standard. Ces dernières n'ont pas de distinction de longueur. Toutes les consonnes simples et géminées du chypriote ont été compressées en vitesse d'élocution rapide, à l'exception de [ɾ]. Malgré cette compression, on n'observe pas de chevauchement entre les simples et les géminées. La durée des sonantes grecques était intermédiaire entre les deux catégories chypriotes. Ces résultats sur la consonne [ɾ] montrent que les effets des asymétries de la vitesse d'élocution sont dus à l'incompressibilité de certaines catégories et ne sont pas imposées par le système linguistique. Cependant, le contraste entre une catégorie au sein d'un système affecte les valeurs de cette catégorie ; ce constat est visible dans la plus grande longueur des sonantes grecques. Enfin, les résultats montrent que lorsque la durée est l'indice principal pour une distinction catégorielle, il n'y a pas de chevauchement temporel qui survient entre les catégories, contrairement à ce que certaines études sur la longueur vocalique contrastive semblent suggérer. Nous reviendrons sur ce dernier point dans (la Section 5.5.1).

Pickett *et al.* (1999) ont examiné l'effet de la vitesse d'élocution sur les consonnes simples et des consonnes géminées de l'italien. Ils ont analysé les labiales et les dentales produites dans des mots isolément, et dans des phrases porteuses, en vitesses d'élocution normale et rapide. Afin de distinguer les deux catégories de consonnes, la durée de l'occlusion a été mesurée. Pour un locuteur, en vitesse d'élocution rapide, la durée de l'occlusion des consonnes géminées était comparable à celle de la durée des consonnes simples produites isolément. Les mesures qui reflètent la relation entre les deux durées, à savoir le rapport entre la durée de la consonne et la durée de la voyelle précédente, distinguent les simples des géminées, quelle que soit la vitesse d'élocution. Les auteurs ont aussi vérifié expérimentalement, au niveau de la perception, si le fait de modifier le rapport entre la durée de la consonne et celle de la voyelle pouvait mener à un changement perceptif. Les résultats

indiquent que le changement de ces rapports n'affecte pas systématiquement et de manière cohérente la perception des distinctions simples *vs.* géminées. En d'autres termes, ces effets varient significativement chez les auditeurs. Ces résultats soutiennent l'idée qu'il existerait des propriétés acoustiques stables correspondant aux traits phonétiques et cela malgré les variations temporelles au niveau de la durée des occlusions, en fonction des changements de la vitesse d'élocution.

Dans Bouarourou *et al.* (2010), nous avons analysé d'un point de vue acoustique la production des occlusives non-voisées simples et géminées de deux locuteurs du tarifit. Nous avons confirmé une mesure pertinente pour la gémination, à savoir la durée de la tenue consonantique. Les autres paramètres acoustiques retenus (durée des voyelles adjacentes, VTT, VOT) n'ont pas révélé de comportement différent selon que l'on ait affaire aux simples ou aux géminées. L'augmentation de la vitesse d'élocution a provoqué la compression des segments acoustiques mesurés, y compris celle du paramètre pertinent de la gémination : la tenue consonantique. Malgré le réaménagement temporel de ce paramètre critique, la distinction des deux classes reste possible par la tenue consonantique, aussi bien en termes absolus que relatifs (le pourcentage de temps pris par la tenue consonantique dans la syllabe CV). Cela semble démontrer la résistivité de la gémination en tarifit. L'étude de Bouarourou *et al.* (2010) a tenté d'établir des liens articulatori-acoustiques, en suggérant des corrélations entre la tenue consonantique acoustique et l'étendue de contact articulatoire. L'étendue du contact articulatoire est un autre paramètre robuste, puisqu'il a permis de distinguer, chez les deux locuteurs, les deux catégories linguistiques à travers différents contextes consonantiques, et cela dans différentes positions à l'intérieur du mot (Bouarourou *et al.*, 2008).

Amano et Hirata (2010) ont testé la théorie de l'invariance acoustique relationnelle, avec la distinction de quantité des occlusives du japonais, en dissyllabes prononcées avec des vitesses d'élocution différentes. Les questions étaient de savoir : a) si la limite de perception entre les deux catégories phonologiques des occlusives simples et géminées est invariante, malgré la variation de ces conditions de vitesse d'élocution, et b) s'il existe une correspondance étroite entre la perception et les frontières de production, dans le cadre d'un mot. Le ratio des durées d'occlusion du mot (où «le mot» a été défini comme dissyllabique) a été précédemment jugé un paramètre invariant qui permet de distinguer les deux catégories, simples et géminées. Mais la présente étude a constaté que ce ratio pouvait varier avec différents scores au niveau de la perception. Cependant, les analyses de régression et de discrimination de données de perception et de production ont montré que le traitement de l'occlusion, en fonction de la durée du mot, représente très bien les frontières de perception et

de production. Ce résultat indique que le ratio de la durée de la tenue des occlusives (par exemple la fermeture avec une constante d'intégration) par rapport au mot était invariant et distingue clairement les deux catégories phonémiques. Pris ensemble, ces résultats appuient la théorie d'invariance relative acoustique, et aident à affiner la théorie en ce qui concerne exactement la forme que peut prendre cette invariance.

Munhall et Löfqvist (1992) ont observé des variations dans les ajustements glottaux pendant la production de sons non voisés dans la séquence [s t] en vitesse d'élocution rapide. Les sujets étaient des locuteurs américains qui ont prononcé une séquence du type 'kiss Ted'. Ces auteurs ont remarqué qu'il y a des gestes d'ouverture et de fermeture glottales pendant toute la séquence. En vitesse d'élocution lente, ils ont constaté un geste d'ouverture et de fermeture pour [s] distinct de celui du [t]. En vitesse d'élocution intermédiaire, la phase d'ouverture pour [t] est absorbée, en partie, par le geste de fermeture pour le [s]. Munhall & Löfqvist (1992) concluent que les locuteurs réalisent habituellement deux gestes d'ouverture et de fermeture glottale pendant la tenue de ce type de séquence. Mais en vitesse d'élocution rapide, il y a tant de chevauchements entre les deux gestes qu'un seul pic apparaît dans le mouvement glottal pendant la séquence. La même analyse semble correspondre parfaitement aux mouvements mandibulaires des séquences consonantiques. Au niveau glottique, nous pensons, toutefois, que les résultats devraient être différents pour une géminée hétéromorphémique homorganique du type [t#t], puisque le geste glottique d'un [s] est différent de celui d'un [t], celui du [s] étant habituellement plus large.

Dans cette même perspective, Ridouane *et al.* (2006) ont mené une étude sur les ajustements laryngés lors de la production de groupes consonantiques obstruantes sourdes du tachelhit. Les observations ont été faites simultanément par transillumination, à l'aide de films obtenus par fibres optiques et d'enregistrements acoustiques. Cette langue possède une riche variété de groupes de consonnes sourdes. Plusieurs combinaisons de groupes de /s/ et /k/ ont été examinés, y compris des consonnes simples et géminées. Dans ce travail, Ridouane *et al.* (2006) ont observé le nombre de gestes d'ouverture-fermeture de la glotte, l'influence du mode d'articulation et les effets de frontières de mots. Les résultats de cette étude fournissent la preuve que le mode d'articulation des segments et leur position dans le groupe de mots ont un impact majeur sur le nombre et la localisation des mouvements d'abduction de la glotte. Les frontières de mots n'ont pas autant d'influence sur les ajustements laryngés.

Vaxelaire (1995a et b) a analysé le comportement des consonnes simples et doubles en français, ainsi que la coordination des articulateurs dans la production de séquences consonantiques hétéromorphémiques homorganiques. Elle a mené cette expérience à partir

des données cinéradiographiques de deux locuteurs (un homme et une femme) qui ont prononcé les séquences /aka/ *vs.* /akka/ et /ada/ *vs.* /adda/ en vitesses d'élocution normale et rapide. Dans un deuxième temps, elle a comparé les consonnes doubles à des séquences consonantiques. Elle a analysé les différences géométriques et acoustiques en termes de différences de stratégies motrices. À l'aide d'une grille développée par Bothorel *et al.* (1986), elle a déterminé des paramètres de mesures (mm) des configurations du conduit vocal liés à l'étendue du contact entre les lèvres, et entre la langue (point, dos) et le palais. L'écartement du maxillaire et le diamètre de la constriction, habituellement liés à la voyelle précédente, ont été également mesurés. Des événements temporels ont été détectés sur le signal acoustique. Ainsi elle a pu déterminer, à partir de relations temporelles spécifiques entre ces événements, des durées acoustiques correspondant au noyau vocalique précédent et à la tenue consonantique. Aucune des réalisations de consonnes doubles ne montrait de relâchement détectable lors de la tenue d'occlusion. Elle a ainsi pu obtenir des consonnes homorganiques doubles présentant véritablement un seul relâchement. En ce qui concerne les séquences consonantiques hétérorganiques, elle a obtenu un seul intervalle acoustique correspondant aux deux gestes articulatoires. En effet, le relâchement de la première consonne a rarement été visible sur le signal acoustique. D'après Vaxelaire (1995b), dans ce travail, les mesures obtenues des profils sagittaux, en vitesse d'élocution normale, montrent que les étendues de contact (correspondant à chaque fois à la valeur maximale de contact) lèvre-lèvre et langue-palais (apex et dos) pour les consonnes doubles sont égales ou éventuellement plus longues que celles des simples. Cette remarque est valable, bien entendu, dans le cadre d'une comparaison terme à terme et intra-locuteur seulement pour toutes les catégories linguistiques examinées, à savoir bilabiale, apicale ainsi que vélaire, et cela pour les deux locuteurs. En vitesse d'élocution rapide, une tendance se dégage, suggérant que l'étendue du contact est plus longue pour les consonnes doubles. Cela indique la pertinence de ce paramètre dans la différenciation des deux catégories linguistiques. C'est-à-dire même lorsque le système linguistique est sujet à une perturbation prosodique avec l'augmentation de la vitesse d'élocution. Pour argumenter ce phénomène, Vaxelaire (1995b) explique qu'en vitesse d'élocution normale, la position « convenable » de la langue, lors de la réalisation de l'occlusion, est atteinte aussi bien pour les simples que pour les doubles. Le locuteur, non soumis à une quelconque contrainte prosodique d'augmentation de la vitesse d'élocution, dispose de suffisamment de temps pour réaliser l'occlusion consonantique. En vitesse d'élocution rapide, afin de maintenir les différences linguistiques de durée, le locuteur doit diminuer les temps de transition. Cette stratégie semble provoquer une augmentation de la force d'exécution du geste, résultant en une augmentation de l'écrasement de la langue contre

le palais pour les consonnes doubles. Cette dernière hypothèse reste, bien entendu, à être vérifiée expérimentalement (peut-être à l'aide de données cinématiques, par exemple).

Plusieurs études ont examiné les consonnes simples et les consonnes géminées au niveau acoustique et au niveau articulatoire en variant la vitesse d'élocution. L'objectif est de vérifier l'impact de la vitesse d'élocution sur ces consonnes : la compressibilité, l'incompressibilité de certaines catégories et la résistivité de la gémination à l'augmentation de la vitesse d'élocution. Quelques résultats principaux montrent : a) lorsque la durée est l'indice principal pour une distinction catégorielle, il n'y a pas de chevauchement temporel qui survient entre les catégories, malgré une augmentation de la vitesse d'élocution ; b) le changement des rapports voyelle/consonne n'affecte pas systématiquement et de manière cohérente la perception des distinctions simples *vs.* géminées ; c) le ratio de la durée de la tenue des occlusives par rapport au mot était invariant et distingue clairement les deux catégories phonémiques.

Nous proposons, dans ce qui suit, d'examiner certaines théories en production de la parole, théories qui pourraient nous être utiles pour rationaliser certains de nos résultats. Les sections qui suivent doivent beaucoup à Sock (1998).

4 Les grands courants théoriques en phonétique

4.1 La Théorie Motrice de la Perception

Comme l'écrit Sock (1998), cette théorie a été développée par (Liberman *et al.,* 1967 ; Liberman & Mattingly, 1985). Selon ces auteurs, il y aurait un invariant physique en parole qui serait de nature articulatoire, et plus précisément de nature gestuelle, avec une prise en compte de la dynamique des mouvements articulatoires. À partir d'une série d'expériences, ils ont pu démontrer qu'un auditeur ne peut faire la sommation des deux parties ou composants acoustiques d'un percept, à savoir la transition de F3 d'une part, et les transitions de F1 et de F2 avec les trois premiers formants, d'autre part, pour reconstituer les stimuli synthétiques d'origine (/da/ et /ga/). En effet, nous savons, depuis le travail de Harris *et al.* (1958), qu'il est possible de faire la distinction entre ces deux syllabes en manipulant la direction de la transition du F3 : elle est montante pour /ga/ et descendante pour /da/. Lorsque ces stimuli sont présentés à des sujets, ils perçoivent toujours et clairement soit /ga/ soit /da/ pour les extrêmes de la série, ou une catégorie ambiguë pour les stimuli situés au milieu du continuum.

Sock (1998) souligne que pour Liberman (1984), le fait que l'auditeur n'arrive pas à reconstituer auditivement le percept vient du fait qu'il intégrerait les deux parties du percept dans un classement catégoriel qui serait de nature phonétique, et plus précisément gestuelle. Selon Liberman (1984), il existerait un module spécialisé de perception de la parole, et plus généralement du langage. Celui-ci fonctionnerait de bas en haut, empêchant que les modules cognitifs de décodage de haut niveau aient accès aux différentes composantes du percept.

Suivant le raisonnement de Liberman & Mattingly (1989), une question importante se pose alors : pourquoi le langage, une capacité considérée comme étant hautement cognitive, semble fonctionner à un niveau clairement pré-cognitif.

Selon ces derniers, l'efficacité perceptive de la parole serait liée à deux phénomènes : 1) tout d'abord, il existe un nombre réduit d'unités phonologiques de base, qui sont rassemblées en combinaisons plus ou moins libres pour constituer les parties du discours. 2) Ensuite, la relative inertie des articulateurs est compensée par une coarticulation des segments phonologiques à produire. Ils en concluent que le chevauchement spatial et temporel des unités du code est indispensable pour permettre la production de la parole à une vitesse d'élocution raisonnable. Ce serait, en réalité, ce phénomène de coarticulation qui compliquerait le processus de perception de la parole, rendant non-linéaire la correspondance entre les gestes phonétiques successifs et les segments acoustiques successifs.

Le signal acoustique étant de nature hautement complexe, étant donné les divers facteurs coarticulatoires, Liberman et Mattingly (1985) proposent alors de rechercher un invariant dans le domaine articulatoire, et notamment gestuel, où la correspondance entre représentations phonologiques et gestes est moins complexe. Cette proposition d'analyses du phénomène de la parole, sous forme de structures articulatoires élémentaires plus petites a été exploitée, tel que nous le développons *infra*, par Browman & Goldstein (1989), dans leur Phonologie Articulatoire, où les gestes correspondent à des structures coordinatives, c'est-à-dire à des entités ayant une spécification spatio-temporelle. Cette théorie s'est établie également grâce au modèle mathématique qu'est le « Task Dynamic Model », décrit *infra*, et élaboré au sein des Laboratoires Haskins (Saltzman, 1986 ; Saltzman et Munhall, 1989 ; Saltzman & Byrd, 2000).

Pour appuyer ce point de vue, Fujimura (1991) explique que le passage d'une description articulatoire à une description acoustique de la parole est particulièrement non-linéaire, au sens où une superposition linéaire de gestes ne se traduit pas par une combinaison linéaire de paramètres acoustiques. En revanche, l'information au niveau moteur, selon Fujimura (1991), se présente de telle sorte que la relation entre l'articulatoire et la représentation phonologique est quasi-linéaire.

Pour Fowler & Saltzman (1993), il semblerait que les auditeurs emploient une «constellation» de conséquences acoustiques de gestes linguistiquement signifiants du conduit vocal, comme étant une information sur la source. Les auditeurs trieraient alors les gestes et ne garderaient que ceux qui sont linguistiquement signifiants. Cependant Sock & Vaxelaire (2001) émettent quelques réserves en montrant que le système de production et de perception de la parole combinerait un espace de contrôle moteur avec un espace de contrôle acoustique.

Nous proposons maintenant d'examiner un autre courant théorique, où l'on défend l'idée de l'existence de espace de contrôle acoustico-auditif.

4.2 La Théorie Quantique de Stevens (1985 ; 1989 ; 1991 ; 2002 ; 2005)

La Théorie Quantique (*Quantal Theory*) prône, elle, l'existence de l'invariance acoustico-auditive dans le signal de la parole. Stevens (1985) définit les cibles comme étant des régions dans l'espace acoustique et articulatoire, par les principes quantiques, dynamiques et distributionnels. Les propriétés acoustiques, ayant un rôle perceptif, resteraient invariantes quels que soient les locuteurs et les contextes phonétiques. Le but acoustique devient alors plus important que le geste lui-même.

Selon Stevens (1985 ; 1991), il existerait une organisation hiérarchique des traits phonologiques qui structurent le lexique, ainsi qu'une représentation directe de ces indices sous forme de *caractéristiques acoustiques invariantes* du signal de parole. Pour lui, le locuteur doit apprendre les différents modèles de coordination des articulateurs, afin de remplir les exigences acoustico-auditives du code phonologique.

« Given this view of the feature-based structure of the lexicon and the way in which the various features are represented in the sound, we can speculate on the implications for strategies for speech production. […] [In producing speech sounds] speakers must learn patterns of coordination of the various articulators that satisfy [the] acoustic requirements. » (Stevens, 1991, p. 86).

De ce fait, et par opposition à la proposition de la Théorie Motrice de (Liberman *et al.*, 1967 ; Liberman & Mattingly, 1985), l'espace de contrôle, selon Stevens (1991), serait acoustique, étant donné que le locuteur coordonnerait ses mouvements au mieux pour doter le signal acoustique d'indices spectraux et temporels invariants, directement associés au code phonologique.

L'ensemble des conclusions de Stevens (1991) repose sur ses travaux, menés en collaboration avec Blumstein depuis les années 70. Suite à une série d'expériences sur la perception du lieu d'articulation des consonnes occlusives /b, d, g/ dans des stimuli de synthèse du type consonne-voyelle, Stevens & Blumstein (1978) tentent de prouver l'existence de propriétés acoustiques invariantes permettant la caractérisation du lieu d'articulation de la consonne, indépendamment du contexte vocalique. Leurs données montrent que la forme globale du spectre, calculé au relâchement (soit la détente acoustique) de la consonne, diffère selon le lieu d'articulation. Ainsi, ils observent :

- un pic spectral proéminent dans les fréquences moyennes (1 à 3 kHz) pour les vélaires,
- un spectre "diffus" et montant pour les dentales,
- un spectre "diffus" et descendant pour les labiales.

Sock (1998) rappelle qu'il fallait cependant passer d'un invariant statique à un invariant dynamique, plus tard, pour pouvoir se rendre compte de distinctions phonologiques plus fines telles que la distinction entre /b/ et /w/ (Blumstein, 1986). Toutefois, l'hypothèse de base ne change pas avec ce réaménagement de la théorie. Pour Blumstein (1986), il existerait une invariance acoustique dans le signal de parole correspondant aux traits phonétiques d'une langue. Cette dernière établit que le signal de parole serait hautement structuré, dans le sens

où il contiendrait des modèles acoustiques invariants. Ces modèles correspondent à la dimension phonétique de la langue, associés aux segments linguistiques et aux traits phonétiques. En outre, ces modèles resteraient invariants, quels que soient les locuteurs, les contextes phonétiques et les langues : *« There is acoustic invariance in the speech signal corresponding to the phonetic features of natural language. That is, it is hypothesized that the speech signal is highly structured in that it contains invariant acoustic patterns for the phonetic dimension of language relating in particular to linguistic segments and to phonetic features, and that these patterns remain invariant across speakers, phonetic contexts, and languages. »* (Blumstein, 1986, p. 178).

Il s'agit alors de rendre compte des facteurs qui façonnent les caractéristiques acoustiques et articulatoires utilisées pour signaler les distinctions linguistiques. Comme le font par ailleurs remarquer Lindblom & Engstrand (1989), la Théorie Quantique est une théorie des traits distinctifs qui, contrairement à la théorie relativement axiomatique de Jakobson (1961), tente de rationaliser l'origine des traits à partir de l'observation des phénomènes articulatoires et des résultats acoustiques associés.

Ce constat fait, il importe de signaler que le lien entre une théorie de l'invariance acoustique et la Théorie Quantique n'est pas clairement défini chez Stevens (1989). Blumstein, (1989) souligne ce fait, en disant que les propriétés invariantes ne sont pas intrinsèques aux paramètres acoustiques dans la Théorie Quantique et que seule la *stabilité* de l'acoustique par rapport à l'articulatoire peut être inférée. Elle admet, toutefois, qu'une théorie de l'invariance acoustique ne peut être viable sans une Théorie Quantique sous-jacente, puisqu'elle requiert l'émergence d'un nombre défini de propriétés acoustiques invariantes à partir d'un nombre potentiellement infini de configurations articulatoires. Ainsi, l'existence d'invariants acoustiques dans le signal de parole apparaît dans le cadre de la Théorie Quantique (*Quantal Theory*) proposée par Stevens (1972 ; 1989). Le raisonnement de base de cette théorie consiste en la non-linéarité du passage de l'articulatoire à l'acoustique, responsable de l'existence de zones dans l'espace articulatoire pour lesquelles le résultat acoustique est stable (Zones I et III dans la Figure 4), et de zones où une petite variation du paramètre articulatoire implique une variation abrupte du paramètre acoustique (zone quantale (Zone II)). Lorsqu'un paramètre articulatoire varie de manière linéaire, il arrive que les conséquences acoustiques varient de façon non régulière. Autrement dit, dans certaines zones articulatoires, des mouvements qui seront sans conséquences acoustiques (résultat stable) sont observables.

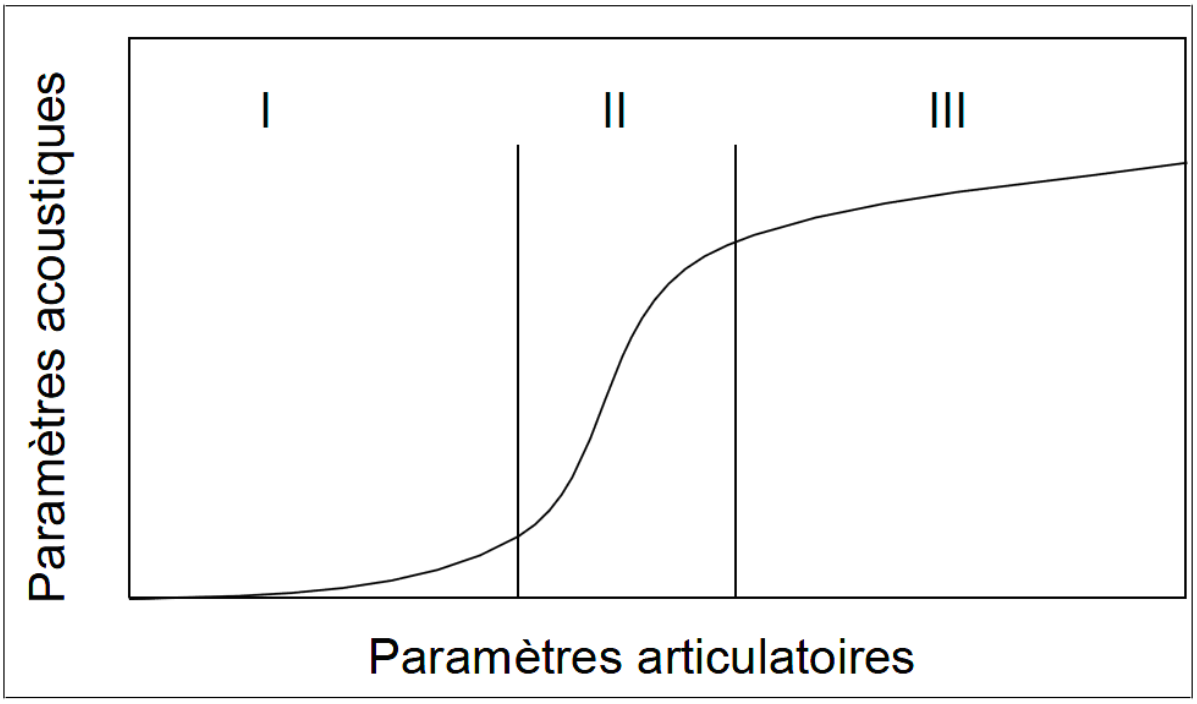


Figure 4 : Non-linéarité du passage d'un paramètre de commande articulatoire à un paramètre de sortie acoustique dans le paradigme de base de la Théorie Quantique. (Adaptée de Stevens, 1989).

Les relations articulatori-acoustiques sont de nature quantale dans la mesure où les variations acoustiques se font par paliers et les variations articulatoires de manière continue. La théorie suggère que ces relations quantales entre les paramètres acoustiques, articulatoires et perceptifs sont un facteur déterminant pour la sélection des attributs articulatoires et acoustiques employés par le locuteur pour signaler les distinctions linguistiques.

Ladefoged (1983), lui, s'oppose à cette théorie. Il considère que si les locuteurs favorisent certains points dans la zone de dispersion possible, c'est simplement qu'ils sont plus faciles à réaliser et non pas du fait de leur nature quantale. En effet, il n'existerait pas de qualité vocalique préférentielle, en dehors, peut-être, des voyelles [i, a, u], qui offrent un maximum de distinction dans la mesure où ce sont des points extrêmes dans l'espace articulatoire (et non du fait qu'une grande variation articulatoire aurait peu de conséquences acoustiques). Aussi, il signale que certains objets peuvent être regroupés selon un « air de famille » (*family resemblance)* au niveau articulatoire, sans que ceux-ci soient nécessairement corrélés.

Clements et Ridouane (2006), dans leur revue de la Théorie Quantique, proposent deux grandes familles de définitions des traits quantiques :

1. pour les définitions contextuelles, les indices acoustiques ou auditifs seraient détectés uniquement lorsque les traits ont une position dans un contexte approprié ;

2. pour les définitions intrinsèques, les indices se trouveraient alors dans le segment lui-même.

Nous pensons que cette théorie est une illustration adéquate de relations non linéaires entre les gestes articulatoires et leurs conséquences acoustiques. Effectivement, la variation de certains paramètres articulatoires n'a aucune conséquence au niveau acoustique, tandis que d'autres, même plus minimes, peuvent entrainer une réorganisation remarquable de l'espace acoustique et donc du message linguistique. La production de certains sons tolère une plus grande variabilité des gestes articulatoires sans pour autant que le résultat acoustique soit modifié. Nous dirions alors que, pour cette catégorie de sons, leur espace de viabilité est plus large. C'est le cas par exemple de la production de la voyelle [a], où le paramètre critique du contrôle est la constriction pharyngale, les autres régions du conduit vocal ayant des degrés de liberté plus grands. Certains sons auront alors des zones de *viabilité* plus étendues que d'autres. En d'autres termes, la réalisation de tels sons implique moins de contraintes articulatoires pour obtenir un résultat acoustique désiré Sock (1998).

Il existe aussi d'autres perspectives en production de la parole qui tentent de d'expliquer et de concilier la tension entre la constance du niveau phonologique et la variabilité inhérente aux substrats physiques du niveau phonétique ; c'est le cas de la théorie de la Variabilité Adaptative, par exemple.

4.3 La Théorie de la Variabilité Adaptative de Lindblom (1987 ; 1990)

Cette théorie met en exergue la capacité des locuteurs à adapter leur production de parole, suivant la situation de communication.

Les variabilités liées à la parole entrainent des différences de timing dans les différents contextes. Les « cibles » articulatoires et acoustiques ne sont pas toujours atteintes, et sont alors considérées comme un *phénomène de ratage de la cible articulatoire*, ou « undershoot » (Stevens & House, 1963). Même lorsque ce « ratage » est lié à la durée, ou au contexte de la réalisation du geste (Lindblom, 1963a ; 1963b), la cible articulatoire fondamentale d'un phonème quelconque resterait invariante.

En effet, plusieurs expériences indiquent que les cibles articulatoires et acoustiques peuvent être atteintes en vitesse d'élocution rapide, malgré la courte durée du segment (Engstrand, 1987 ; Gay, 1978 ; Kuehn & Moll, 1976 ; Mefferd & Green, 2010). En outre, Nord (1986) a observé un « ratage » lors de la production d'un énoncé en suédois, en parole non accentuée, dans le cas d'un allongement final de voyelle. L'aptitude du système de production de la parole à se réorganiser selon des variables internes ou externes est alors

clairement apparue. La notion de hypo-hyper speech, sur laquelle nous reviendrons, souligne encore la capacité de réajustement en production de la parole.

Dans les années 60 et 70, une grande partie des variabilités dévoilées dans les signaux de parole, telles que les coarticulations vocaliques et consonantiques (Öhman, 1967), était expliquée en termes de chevauchements spatio-temporels de commandes adjacentes (MacNeilage, 1970). Ainsi, des études relatives à *l'articulation compensatoire* ont démontré que des énoncés produits avec un « bite-block » ne présentaient que très peu de variabilité par rapport aux productions canoniques. Cela permet de conclure à la capacité compensatoire du locuteur, grâce à ces commandes qui gèreraient les chevauchements spatio-temporels de manières invariantes. Le succès des compensations implique une réorganisation des gestes articulatoires qui doit être contrôlée par des représentations cibles ou des commandes liées à ces productions.

La notion de cible devrait être définie, selon Lindblom (1987), comme le rendement acoustique que le locuteur veut atteindre, plutôt qu'en termes de simples invariants articulatoires. Si l'invariance n'est pas articulatoire, se peut-il qu'elle soit acoustique ?

Nous avons vu *supra* que Stevens et Blumstein (1978) prônent que le signal acoustique contient de véritables invariances physiques correspondant aux segments et aux traits phonétiques.

Lindblom (1987) se pose judicieusement la question de savoir si l'invariance acoustique ne serait pas qu'une invariance auditive globale.

Plusieurs études ont démontré que l'invariance acoustique présuppose forcément un processus auditif. De plus, il a été montré que le langage est un processus très souple. En effet, nous sommes capables de faire varier nos productions de façon plus ou moins rapide, avec ou sans un certain relâchement, nonchalamment ou clairement, et cela en fonction du public auquel nous nous adressons. Labov (1972) affirme que nous changeons également notre prononciation en fonction des règles sociales gouvernant les interactions entre le locuteur et l'auditeur. Cependant, cette dernière considération est plutôt sociologique, en conséquence nous n'en parlerons pas davantage ici.

Nous retiendrons trois types d'invariance supputées : 1) une invariance articulatoire, 2) une invariance acoustique et 3) une invariance auditive. Mais quelles sont les implications de la variabilité et de l'invariance, par rapport aux différents styles d'élocution ?

Lindblom (1987) répond à cette question en disant que toutes les informations se trouvent dans le signal, et plus particulièrement dans sa dynamique, lorsqu'il affirme : « *All*

the information is in the signal, particularly in its dynamics ». Mais pour valider ces propos, il faut accepter le fait que les locuteurs, en faisant varier leur style d'élocution, contribuent à augmenter la variabilité des aspects physiques de la parole. Or des énoncés dans lesquels les unités linguistiques sont intelligibles révèleront toujours un « noyau invariant » d'informations linguistiques physiques. C'est le noyau même d'une voyelle ou d'une consonne qui devrait être conservé.

Le problème de l'invariance ne serait pas une question acoustique. Finalement, l'invariance ne saurait être définie qu'au niveau de la compréhension globale de l'auditeur.

Si la stratégie de la *Variabilité Adaptative* fonctionne réellement lorsque deux interlocuteurs communiquent efficacement, il est possible de résoudre certains paradoxes liés à la question de l'invariance. La variabilité phonétique intra-locuteur est une caractéristique qui montre, dans un cadre écologique d'échanges linguistiques, qu'il ne saurait y avoir d'invariance physique absolue, mais plutôt de la variabilité limitée au domaine du viable. Nous reviendrons sur la notion de viabilité lorsqu'il s'agira de présenter la Théorie de la Viabilité décrite *infra.*

MacNeilage (1970) écrivait, à propos de la question de l'invariance, *« ...the essence of the speech production process is not an inefficient response to invariant central signals, but an elegantly controlled variability of response to the demand for a relatively constant end ».* En d'autres termes, le processus de production de la parole n'est pas qu'une réponse à un signal invariant central mais une variabilité élégamment contrôlée en réponse à la demande d'une cible relativement stable. Nous pensons que cette formulation peut être considérée comme plausible dans la mesure où la cible « relativement stable » n'est plus définie de façon articulatoire ou acoustique, ni auditive, mais est spécifiée uniquement au niveau de la compréhension globale du locuteur.

Analysant un corpus de parole spontanée (*self generated speech*), Lindblom & Lindgren, (1985) considèrent que la notion d'invariant physique n'est pas pertinente dans le domaine de la phonétique, puisqu'elle ne peut être définie qu'au niveau de la compréhension globale de l'auditeur ; *« The invariance problem is not a phonetic issue at all for ultimately invariance can be defined only at the level of listener comprehension »* (Lindblom, 1987).

Ainsi, contrairement aux théories *Motrice et Quantique* (développées *supra*), qui toutes les deux postulent l'existence d'un invariant associé à un invariant phonologique, la théorie de la *Variabilité Adaptative* s'appuie sur la notion d'adaptabilité du locuteur, et renonce à l'hypothèse de l'existence d'une Invariance Physique Absolue (*Absolute Physical Invariance*,

(Lindblom, 1987) dans le signal de la parole. Les paramètres physiques décrivant la parole seraient variables à tous les niveaux pour un message linguistique invariant.

Selon Lindblom (1987), l'exigence de distinctivité perceptive de la part de l'auditeur et la demande d'économie articulatoire du locuteur seraient les deux forces antagonistes caractéristiques du fonctionnement du système moteur de production de la parole. Et le concours de ces deux forces serait le principal responsable des phénomènes de variabilités obtenues en production de la parole. Pour les illustrer, Lindblom (1987) réalise un schéma représentant les domaines d'hyper- et hypo-articulation en parole, qui correspondent aux possibilités de compensation dans l'interaction entre le locuteur et l'auditeur, en fonction des informations provenant du contexte et du signal (voir Figure 5).

La notion *d'hypo-articulation* est associée au concept d'atteinte de cible phonétique dans un principe d'économie. Le locuteur s'adapte aux contraintes de production en faisant en sorte de conserver une parole compréhensible. Dans le cas de *l'hyper-articulation*, le locuteur choisit de sur-articuler pour s'adapter aux conditions de communication, l'atteinte de la cible étant alors en accord avec la demande de l'auditeur et la situation d'énonciation.

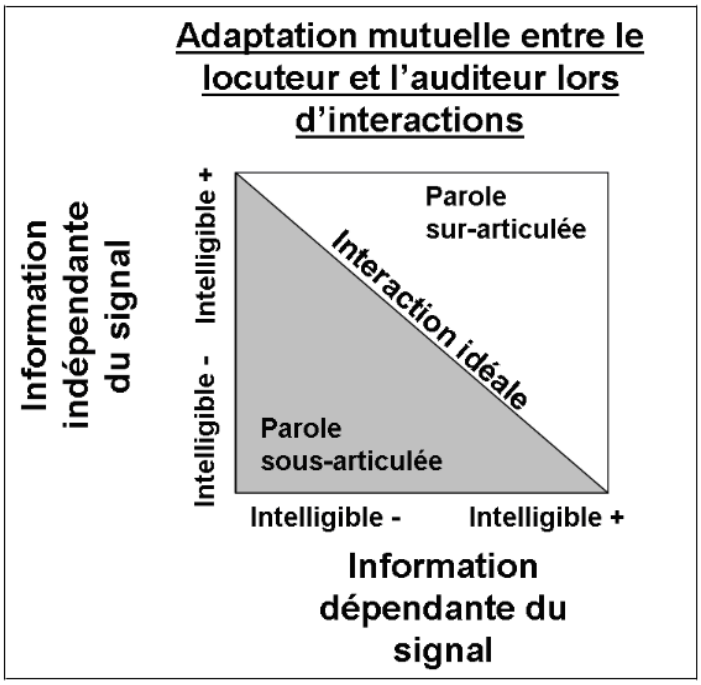


Figure 5 : Domaines d'hyper- et d'hypo-articulation en parole, en fonctions des informations du contexte et des informations dans le signal, selon la Théorie de la Variabilité Adaptative. (Adaptée de Lindblom, 1987, in Béchet (2011)).

Dans la Figure 5, l'axe *y* représente la quantité d'information préalable à toute élocution et l'axe *x* correspond à la quantité d'information explicite dans le signal, sous le contrôle direct du locuteur. Lindblom (1987) soutient l'idée que le locuteur adopte une stratégie de

Variabilité adaptative en s'efforçant de se placer le plus proche possible de la diagonale idéale (*ideal cases*). Le locuteur utilise alors les compétences de compréhension de l'auditeur, tout en répondant aux exigences implicites de ce dernier. Sock (1998) rappelle qu'en se fondant sur cette notion d'*adaptabilité* du locuteur, la Théorie de la Variabilité Adaptative rejette toute notion de présence d'invariants physiques dans le signal de parole. Pour cette raison, les paramètres physiques décrivant la parole seraient variables à tous les niveaux pour un message linguistique invariant.

Nous proposons maintenant de présenter, dans leurs grandes lignes, quelques modèles en production de la parole.

4.4 Le modèle de la dynamique des tâches -The Task Dynamics Model (Saltzman *et al*., 1987)

Une des tâches majeures en production de la parole est de créer et de déclencher des constrictions localement dans les différentes régions du conduit vocal (*par ex.*. les lèvres pour les consonnes bilabiales, ou entre le dos de la langue et le palais pour certaines voyelles).

Dans le modèle de dynamique des tâches, certaines constrictions sont contrôlées par un système dynamique avec deux fonctions distinctes, mais ayant des niveaux interactifs. Le niveau de coordination intergestuel est défini de façon relative à un ensemble d'activations coordonnées. Le niveau de coordination interarticulatoire est défini selon deux ensembles : le modèle articulatoire et les coordonnées des « *tract variables* ». L'identité linguistique de chaque unité gestuelle est définie indépendamment du contexte, par un ensemble de paramètres dynamiques. Les valeurs de chaque activation de gestes définissent la force avec laquelle le geste forme les mouvements dans le conduit vocal, selon ses propres buts phonétiques.

Les « *tract variables* » et les modèles articulatoires associés à chaque geste spécifient la constriction particulière dans le conduit vocal (*par ex.* bilabiale) et un ensemble d'articulateurs (*par ex.* lèvres et mâchoire), dont les comportements sont directement affectés par l'activation des gestes.

Le niveau intergestuel permet une synchronisation temporelle, ainsi qu'une cohésion des gestes qui participent à un énoncé donné (*par ex.* pour le dos de la langue et le geste bilabiale dans une séquence voyelle-consonne bilabiale-voyelle).

Dans les simulations de la dynamique des tâches, chaque type de constriction est associé à une paire typique de « *tract variable* ». L'une renvoie à la localisation de la

constriction, le long de l'axe longitudinal du conduit vocal, l'autre réfère au degré de la constriction, mesurée perpendiculairement à l'axe longitudinal sur le plan sagittal.

Architecture du modèle task-dynamics

La modélisation de la production de la parole adoptée par les Laboratoires Haskins se fait dans le cadre des systèmes dynamiques (Kelso & Tuller, 1984 ; Kelso *et al*., 1986a, 1986b ; Rubin *et al.*, 1996). Le choix de cette approche offre la possibilité de :

1. déterminer la cinématique des mouvements des articulateurs ;
2. de rendre compte des stabilités de ces mouvements face aux perturbations ;
3. de dégager les lois qui régissent les dégradations de ces mouvements suivant les conditions d'exécution et le contexte (Saltzman & Munhall, 1989).

L'existence de niveaux de coordinationest postulée pour la réalisation concrète du modèle quantitatif : un niveau inter-gestuel et un niveau inter-articulateur (voir Figure 6). Les tâches, quant à elles, sont définies de manière invariante par des systèmes dynamiques au niveau du module Coordination Inter-gestuelle (Intergestural Coordination). Les variables d'activation gestuelle (gestural activation variables) sont alors liées aux unités phonologiques discrètes qui constituent toute production linguistique.

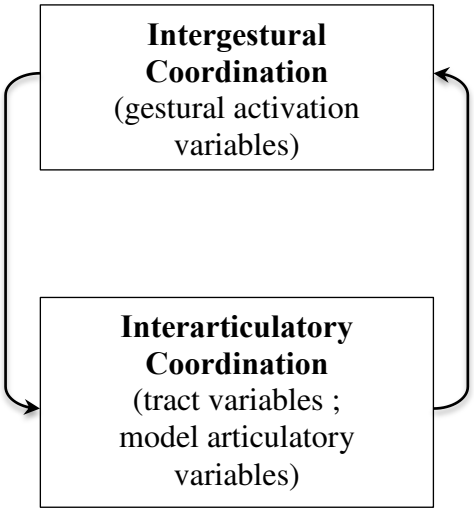


Figure 6 : Schématisation du modèle dynamique à deux niveaux pour la production de la parole. La flèche de gauche indique les commandes d'activation gestuelle et celle de droite le feedback de l'état du système physique de production. (d'après Saltzman & Munhall 1989).

Ce sont en effet les variables d'activation gestuelle qui constituent l'espace dans lequel seront exprimés les gestes indépendamment du contexte. En d'autres termes, et dans le cadre de la Phonologie Articulatoire (*Articulatory Phonology*), c'est dans cet espace que chaque unité phonologique trouvera son expression sous forme de constellations ou d'agrégats de gestes simples (Browman & Goldstein, 1989).

Les variables du conduit vocal (*tract variables*) sont décrites dans l'espace des positions et des degrés de constrictions le long du conduit vocal (par exemple l'ouverture et la protrusion des lèvres). Les variables articulatoires (*model articulatory variables*) représentent les articulateurs responsables de la forme du conduit vocal (par exemple la mandibule et les lèvres inférieure et supérieure).

Les simulations du système physique de la production de parole sont faites à l'aide d'un synthétiseur articulatoire développé par Rubin *et al.* (1981, 1996). C'est un modèle qui simule les formes du conduit vocal sur le plan sagittal, grâce à une modélisation géométrique simplifiée de la cinématique des articulateurs. Les variables du conduit vocal, ainsi que les degrés de liberté au niveau des articulateurs sont présentés dans la Figure 7.

tract variable		articulators involved
LP	lip protrusion	upper & lower lips, jaw
LA	lip aperture	upper & lower lips, jaw
TTCL	tongue tip constrict location	tongue tip, tongue body, jaw
TTCD	tongue tip constrict degree	tongue tip, tongue body, jaw
TBCL	tongue body constrict location	tongue body, jaw
TBCD	tongue body constrict degree	tongue body, jaw
VEL	velic aperture	velum
GLO	glottal aperture	glottis

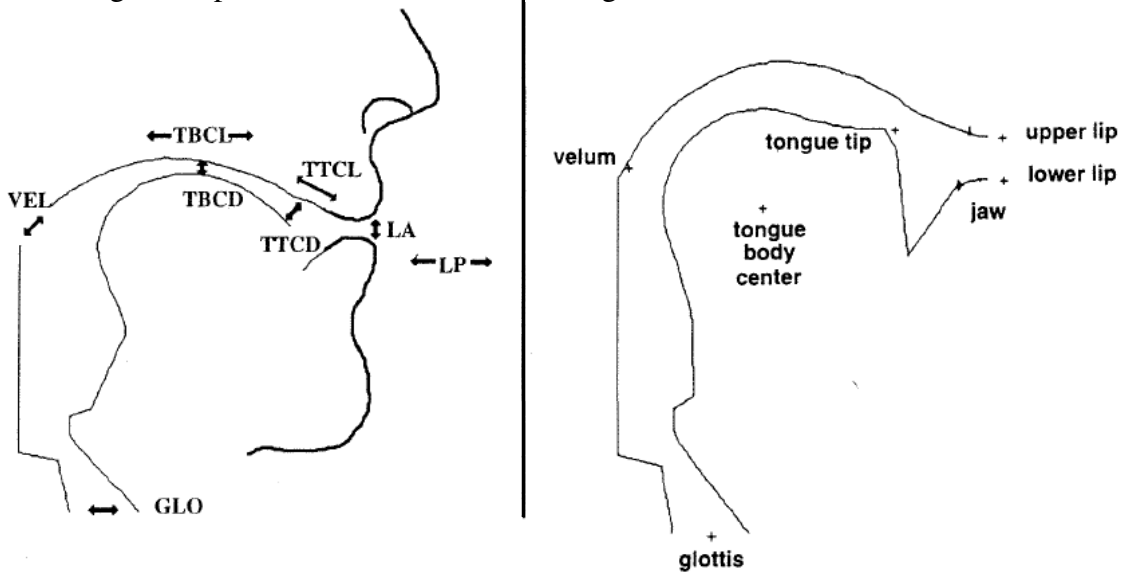


Figure 7 : La Coupe sagittale du conduit vocal en sortie du synthétiseur articulatoire de Haskins Laboratories. Les variables du conduit vocal (positions et degrés des constrictions) y sont montrées de manière schématique. (D'après Browman & Goldstein, 1989).

Comme il s'agit d'obtenir une simulation quantitative (mathématique) précise dans le cadre du modèle task-dynamics, une question s'impose :

Comment spécifier l'évolution temporelle des variables d'activation gestuelle ?

Chaque geste est simulé par un système dynamique de second ordre (du type masse-ressort) sur-amorti (pour l'équation du mouvement, voir Saltzman & Munhall (1989). Les commandes de raideur, de frottement et de position d'équilibre apparaissent sous forme de créneaux à l'entrée de chaque système. Dans un premier stade, l'orchestration temporelle des gestes est faite « à la main » par le moyen d'un tableau appelé *gestural score* ou « partition gestuelle » comportant la variable temps associée à l'axe horizontal et les différentes variables du conduit vocal figurant sur l'axe vertical (Browman & Goldstein, 1990). La Figure 8 montre un exemple de partition gestuelle pour le mot anglais "*palm*".

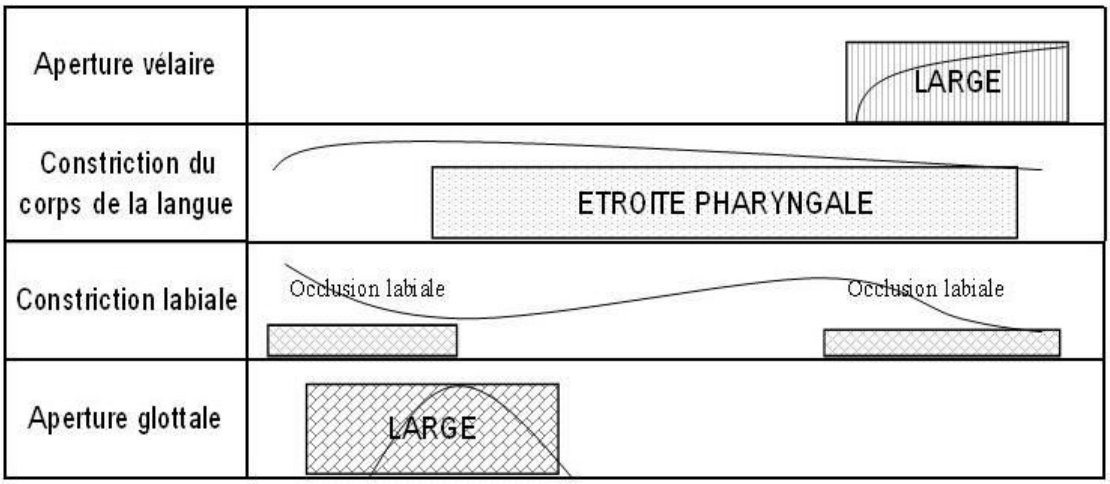


Figure 8 : Partition gestuelle pour le mot anglais "Palm" d'après . Browman & Goldstein (1992)

Cette représentation se lit ainsi :

- les Gestes articulatoires employés sont définis sur la droite ;
- les boîtes grisées représentent l'intervalle d'activation de chaque geste, soit l'intervalle durant lequel le geste est actif et exerce une influence sur la dynamique du conduit vocal ;
- les étiquettes se rapportent au lieu et/ou au degré de constriction ;
- la courbe en noir est une courbe de mouvement calculée par le modèle Task Dynamics, à partir de paramètres numériques dynamiques associés à chaque variable du conduit vocal.

Cette section a parcouru des théories qui prônent l'invariance en production-perception de la parole. Selon la théorie motrice de la perception (Liberman *et al*. 1967 ; Liberman & Mattingly, 1985), il y aurait un invariant physique en parole de nature articulatoire (précisément gestuel) avec une prise en compte des dynamiques des mouvements articulatoires. Pour la théorie quantique (Stevens, 1985), l'invariance serait d'ordre acoustico-auditive. La théorie de la Variabilité Adaptative de Lindblom (1987 ; 1990), met en avant, au contraire, les variations possibles en production de parole, c'est-à-dire que le locuteur a la capacité d'adapter la production de parole à la situation de communication. Pour le modèle de Saltzman *et al.* (1987), les tâches sont définies de manière invariante par des systèmes dynamiques au niveau du module de la Coordination Inter-gestuelle. Les variables d'activation gestuelle sont alors liées aux unités phonologiques discrètes qui constituent toute production linguistique.

5 Théories et modèles qui intègrent la variabilité dans leur conception

5.1 Le Modèle statistique (Maeda, 1990)

La présentation de l'état de l'art dans cette section doit beaucoup à Laprie & Busset (2011) et Busset (2013). Elle signale que les modèles statistiques sont souvent les plus réalistes, car ils sont construits à partir de données de coupes sagittales. Ils sont habituellement fondés sur des formes réelles dérivées de données cinéradiographiques ou d'IRM. En ce sens, ils procurent donc une bonne capacité descriptive du conduit vocal. Une analyse statistique permet d'extraire des caractéristiques articulatoires pertinentes et interprétables.

L'un des principaux modèles articulatoires construits à partir d'images cinéradiographiques est le modèle de Maeda (1990). Il résulte de l'observation de 400 contours de conduits vocaux extraits d'images cinéradiographiques enregistrées lors de la production de phrases courtes. La forme du conduit est mesurée dans un système de coordonnées semi-polaires. La paroi intérieure se compose de la pointe, du corps et de la racine de la langue, ainsi que de la partie supérieure du larynx. Le contour extérieur se compose lui des incisives supérieures, du palais dur, du voile du palais et des parois du pharynx et du larynx. On considère les intersections de ces contours avec la grille semi-polaire. Le système de coordonnées semi-polaires est inutile pour les tubes des lèvres et du larynx, car ces articulateurs se déplacent dans une direction quasi perpendiculaire aux lignes de la grille. Le larynx est représenté par les coordonnées des bords intérieur et extérieur de l'extrémité du larynx. Le tube représentant l'ouverture des lèvres est modélisé par une ellipse contrôlée par trois variables : la hauteur, la largeur et la longueur (la protrusion). La recherche des composantes du modèle s'effectue à partir d'une analyse factorielle proposée par Overall (1962). Maeda (1990) démontre que deux composantes suffisent à expliquer 90% de la variance des données de contours de langue. Avec trois composantes retenues, ce taux s'élève à 98%. Le modèle (voir Figure 9) ainsi obtenu se compose de sept paramètres :

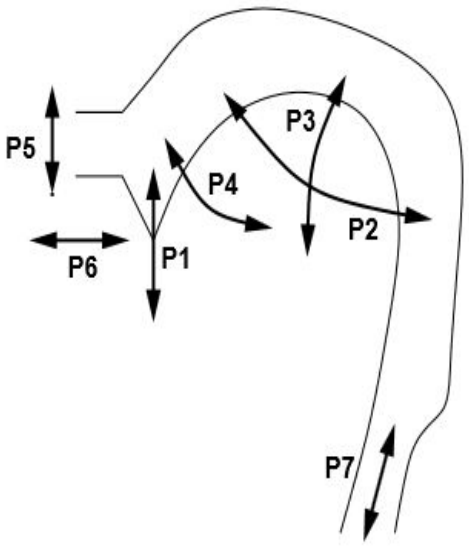


Figure 9 : Les sept paramètres du modèle de Maeda (1990)

Les sept paramètres du modèle de Maeda sont :

- la position de la mâchoire ;
- la position du corps de la langue ;
- la forme du corps de la langue ;
- la position de l'apex de la langue ;
- l'ouverture des lèvres ;
- la protrusion des lèvres ;
- la hauteur du larynx.

Les paramètres articulatoires varient entre moins trois et plus trois écarts-types.

D'autres modèles dérivés du modèle de Maeda ont été développés. Galván-Rodrigez (1997) a modifié l'apex de la langue pour pouvoir modéliser les fricatives. Mathieu & Laprie (1997) ont proposé une adaptation au palais dur du modèle de Maeda.

On peut aussi citer d'autres modèles qui reposent sur une étude statistique des contours sagittaux. Ainsi, Beautemps *et al.* (2001) ont étudié les degrés de liberté pour la production de voyelles orales, de consonnes occlusives et fricatives du français à partir de contours sagittaux extraits de films cinéradiographiques. Le modèle articulatoire développé se compose de neuf paramètres :

- un paramètre pour la mâchoire ;
- un paramètre pour la hauteur du larynx ;
- trois paramètres pour les lèvres ;
- quatre paramètres pour la langue.

Cette étude retient, comme celle de Maeda, l'intersection des contours de la langue avec une grille semi-polaire. Cependant, Beautemps *et al.* (2001) ont retenu une grille qui s'adapte en fonction du contour de la langue, afin de garder un nombre constant d'intersections de la grille avec la langue.

La majorité des études effectuée concerne une vue sagittale du conduit vocal, car les données articulatoires étaient principalement disponibles sur le plan sagittal. Les systèmes d'acquisition en trois dimensions ont permis l'étude de modèles statistiques en trois dimensions.

5.2 Le Modèle de Laprie : construction et évaluation d'un modèle articulatoire du conduit vocal

Selon Laprie & Busset (2011), les modèles articulatoires du conduit vocal jouent un rôle important dans la recherche des relations entre la géométrie du conduit vocal et ses propriétés acoustiques.

Leur travail présente la construction et l'évaluation d'un modèle articulatoire à partir d'un corpus de rayons X et d'images IRM, qui s'approche de la forme latérale des voyelles et des consonnes avec une très grande précision.

Le corpus a été enregistré dans les années 90 par un locuteur masculin français dans le but d'étudier la coarticulation en français (Sock *et al.*, 2011). Il se compose de quatre films. Les deux premiers sont des séries de six phrases courtes allant de /se dø si ylteʀ/ à /se dø sikst skylteʀ/ (pour chaque phrase une consonne non-labiale est ajoutée entre /i/ et /y/ par rapport à la précédente) à des fréquences d'élocution normale et rapide. Les deux dernières séries sont des séries de /VCV/ (/aku iku uku atu itu utu/) en vitesse d'élocution normale et rapide.

Ils avaient comme objectif de construire un modèle articulatoire basé sur les données de de ce locuteur test. Pour la construction de ce nouveau modèle, il a été nécessaire de déterminer la position et la forme des principaux articulateurs à partir des images cinéradiographiques. La cinéradiographie, nous le verrons plus loin, fournit une image sur laquelle toutes les structures se projettent contrairement à une tomographie. Les principaux

articulateurs de la parole sont plus ou moins visibles : la mâchoire, la langue, l'épiglotte, le larynx et les lèvres.

Les contours des principaux articulateurs ont été extraits des images cinéradiographiques, soit à la main soit automatiquement via le logiciel *X-Articulator*, qui propose des outils développés dans ce but (Sock *et al*., 2011). *X-Articulator* propose des outils automatiques afin de suivre les régions rigides, comme les os, des outils de suivi semi-automatique pour les lèvres, le larynx et l'épiglotte et des outils pour tracer le contour de la langue.

Tout d'abord, un document décrit le système coordonné utilisé pour représenter le contour de la langue et la stratégie employée à trouver les modes de déformation. Puis, une procédure d'adaptation du locuteur est présentée et le modèle adapté est évalué dans une seconde base de données d'images en rayons X. Cette évaluation montre que le modèle s'approche de la forme de la langue avec une très bonne précision. Enfin, une ligne centrale d'algorithme est présentée, il s'agit d'un algorithme utilisé pour décomposer le conduit vocal dans une séquence de tubes élémentaires.

Outre les modèles géométriques, certains chercheurs proposent des modèles biomécaniques de la production de la parole ; c'est par exemple le cas de l'hypothèse du Point Equilibre.

5.3 Le modèle biomécanique de production de la parole selon l'hypothèse du Point d'Équilibre

Perrier *et al.* (1996) abordent le problème de la variabilité acoustique pour un même locuteur sous l'angle de la coarticulation. Une modélisation globale de la production de la parole, des commandes motrices jusqu'au signal acoustique est proposée, pour prédire les phénomènes de coarticulation : un modèle décrivant les relations articulatori-acoustiques dans le conduit vocal est commandé selon des principes d'optimisation, pour rendre compte des conséquences de la coarticulation planifiée ; un modèle dynamique, contrôlé selon l'*hypothèse du Point d'Équilibre*, traduit les conséquences des propriétés mécaniques des articulateurs sur le signal acoustique. La présentation des travaux de Perrier ici est empruntée à Sock (1998).

Leur modélisation est sous-tendue par les deux hypothèses suivantes :

1) Une partie de la variabilité acoustique serait le résultat d'une programmation cognitive de l'articulation ; cette programmation vise à produire une séquence gestuelle optimisée au sens d'un critère que l'on pourrait qualifier d'articulatori-

perceptif : «l'effort » fourni par le locuteur versus « l'efficacité » perceptive du message. En termes articulatoires, on pourrait ainsi imaginer, compte tenu des possibilités de compensations articulatoires communes à tous les locuteurs, un sous-espace articulatoire associé à une réalisation perceptivement satisfaisante de chaque phonème ; l'articulation d'une séquence allophonique satisferait alors l'exigence d'optimisation gestuelle en minimisant, par exemple, la distance parcourue dans l'espace articulatoire, comme le propose Keating (1988) dans son « modèle à fenêtre » ou « *Window model* » (Figure 10).

2) L'autre partie de la variabilité s'expliquerait par les caractéristiques inertielles et dynamiques du système articulatoire : pour une commande de mouvement donnée, l'amplitude maximale atteinte dépendra des forces mises en jeu, de la masse de l'articulateur et de la durée du mouvement.

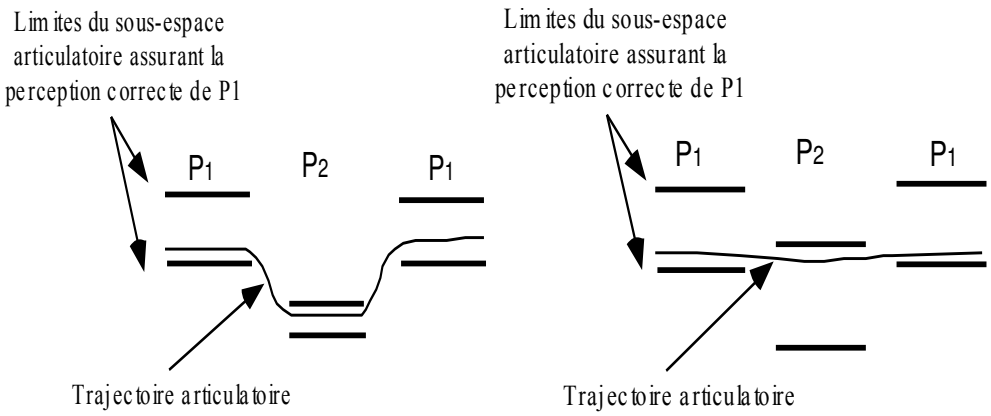


Figure 10 : Optimisation des trajectoires dans l'espace articulatoire selon le « modèle à fenêtres » (adapté de Keating, 1988).

Perrier et ses collègues proposent une modélisation de l'appareil de production de la parole qui permet d'implémenter concrètement ces deux hypothèses. Les relations entre l'articulatoire et l'acoustique sont décrites par le modèle articulatoire de Maeda (1990), dont la démarche statistique de conception assure une bonne prise en compte des contraintes entre les articulateurs et des possibilités de compensations interarticulateurs. L'optimisation gestuelle est fondée sur des critères cinématiques dans l'espace des paramètres de commande du modèle articulatoire. La modélisation dynamique des articulateurs consiste en un système du second ordre, en accord avec diverses descriptions dynamiques des mouvements de la mandibule Flanagan *et al.* (1990) et de la langue (Ostry *et al.*, 1983 ; Ostry & Munhall, 1985). Le contrôle moteur des articulateurs se fait selon « l'hypothèse du Point d'Équilibre » : les mouvements articulatoires vont de cible en cible ; la trajectoire entre les cibles n'est pas contrôlée centralement et seules les positions cibles seraient spécifiées par le SNC. Elles

correspondent à un équilibre mécanique de toutes les forces agissant sur l'articulateur, dont les caractéristiques sont déterminées par des variables de contrôle (Feldman, 1986).

A partir d'un corpus exploitant la séquence /iai/ insérée dans une phrase porteuse et enregistrée pour un locuteur masculin français, trois conditions d'élocution sont étudiées :

1) la vitesse d'élocution lente avec accentuation sur le /a/ ;

2) la vitesse d'élocution lente sans accentuation ;

3) la vitesse d'élocution rapide avec accentuation sur le /a/.

Signalons que le terme « accentuation » désigne ici un accent de focus (ou une emphase) porté sur la voyelle /a/.

Pour ces chercheurs, la réalisation allophonique du /a/ serait fonction de deux facteurs clairement dissociés :

1) la coarticulation planifiée, guidée par les principes d'optimisation évoqués plus haut et intégrant en particulier le contexte vocalique symétrique fermé et antérieur du /i/ ; les effets de cette coarticulation sont indépendants des schémas prosodiques et ne sont donc pas mis en évidence dans ce corpus ;

2) la coarticulation périphérique, fonction des paramètres prosodiques (timing, accentuation) et induisant dans ce corpus une variabilité acoustique et articulatoire.

Il est supposé, d'une part, que dans la condition « lente et accentuée », les configurations articulatoires (et par conséquent les trajectoires formantiques) correspondent effectivement aux trajectoires planifiées, et d'autre part, que la variabilité observée dans les deux autres conditions est le reflet des commandes prosodiques. C'est dans ce cadre qu'ils décident d'exploiter les outils d'inversion développés jadis à l'Institut de la Communication Parlée (Laboissiere *et al.*, 1990) et d'inférer les séquences temporelles des variables de contrôle, aptes à générer et à expliquer la variabilité observée sur les signaux acoustiques.

Perrier *et al.* (2011) ont élaboré des modèles biomécaniques des articulateurs en 3D, basé principalement sur la langue et les lèvres, comme dans les figures ci-dessous. Les principes de base ayant orientés ce travail sont proches de ceux proposés par Wilhelms-Tricarico (1995) ou Sifakis *et al.* (2006), il s'agit de modèles continus basés sur des éléments de structures finis, les mailles, opposés à des modèles discrets basés sur des réseaux de masses élastiques, comme ceux de Kim et Gomi (2007), celui Dang & Honda (2004) et celui de Terzopoulos et Waters (1993). L'activation du muscle influe sur les propriétés mécaniques des éléments du maillage associés avec le muscle activé. Les propriétés mécaniques des

éléments du maillage sont non-linéaires. Comparés aux modèles de (Wilhelms-Tricarico, 1995) et Sifakis *et al.* (2006), leurs modèles musculaires sont fonctionnels et donc moins précis. Cependant, dans le modèle de Perrier *et al.* (2011) l'interaction des tissus mous avec les structures externes : les dents, le palais, les os crâniens sont modélisés avec des contacts, et ceci n'est pas le cas des deux autres modèles (*cf. infra*).

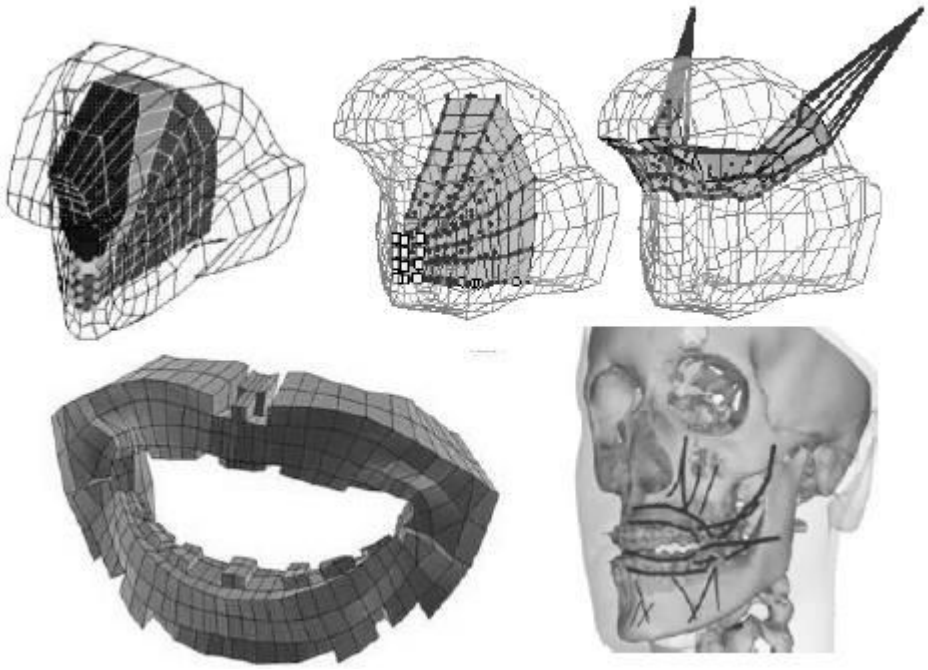


Figure 11 : Exemple d'implémentations anatomiques du muscle. En haut à gauche : la localisation des parties intérieure (gris foncé), médiane (gris clair) et postérieure (gris) du muscle gélioglosse dans la langue, à droite, les microfibres pour le muscle genioglosse et le muscle styloglosse dans le modèle de la langue (Buchaillard, Perrier, & Payan, 2009). En bas à gauche, la description volumétrique du muscle orbiculaire de la bouche dans le modèle facial ; à droite : les microfibres du muscle principal dans le modèle facial (partie gauche) (Nazari *et al.*, 2010 in Perrier *et al.* (2011))

Les modèles statistiques sont souvent les plus réalistes, car ils sont construits à partir de données de coupes sagittales. Ils sont habituellement fondés sur des formes réelles dérivées de données cinéradiographiques ou d'IRM et sont en ce sens anthropomorphiques. Maeda démontre que deux composantes suffisent à expliquer 90% de la variance des données de contours de langue. Avec trois composantes retenues, ce taux s'élève à 98%.

Le travail de Laprie et Busset présente la construction et l'évaluation d'un modèle articulatoire à partir d'un corpus de rayons X et d'images IRM, qui s'approche de la forme latérale des voyelles et des consonnes avec une très grande précision. Enfin, une ligne centrale d'algorithme est présentée, il s'agit d'un algorithme utilisé pour décomposer le conduit vocal dans une séquence de tubes élémentaires.

Perrier propose une approche biomécanique. Il émet les deux hypothèses suivantes : a) une partie de la variabilité acoustique serait le résultat d'une programmation cognitive de l'articulation ; b) l'autre partie de la variabilité s'expliquerait par les caractéristiques inertielles et dynamiques du système articulatoire. Perrier et ses collègues proposent une modélisation de l'appareil de production de la parole qui permet d'implémenter concrètement ces deux hypothèses.

5.4 Phonologie articulatoire

La phonologie articulatoire est un modèle qui a été proposé pour la première fois par Browman & Goldstein (1986) et qui décrit la parole comme une suite de mouvements articulatoires audibles. Ce modèle présente l'avantage d'une organisation directe entre phonologie et phonétique. En se servant d'une seule unité qui sert à la fois de primitive phonologique et d'unité d'action motrice dans la production de la parole, « le Geste articulatoire », ce modèle parvient à établir un lien tangible entre le niveau phonologique et le niveau phonétique puisque ce sont les mêmes unités qui servent à la fois de représentation abstraite (et qui permettent donc le contraste entre différentes unités lexicales) et d'unité d'action dans la réalisation concrète de l'énoncé. Un Geste articulatoire est donc caractérisé en tout premier lieu par des informations sur la façon dont est réalisée cette constriction et notamment sur les différents articulateurs (Browman & Goldstein, 1992, p. 155) : *« In articulatory phonology, the basic units of phonological contrast are gestures, which are also abstract characterizations of articulatory events, each with an intrinsic time or duration. »*

5.4.1 Geste articulatoire : propriétés

En ce qui concerne l'organisation du geste, il a une propriété temporelle et spatiale. Il est caractérisé dans le conduit vocal, en termes de lieux et d'aires d'une constriction maximale. Le lieu et l'aire de la constriction varient selon le contexte vocalique ou consonantique, les positions des articulateurs pouvant changer pour un même phonème. Certains articulateurs peuvent participer simultanément à l'exécution de plusieurs segments.

Produire un son pertinent en parole reviendrait donc à réaliser une action décomposable en un nombre limité d'unités primitives. Dans ce cas, les tâches seraient réparties entre différents ensembles d'articulateurs (lèvres, langue, glotte, …), localisés à l'intérieur du conduit vocal. Ces gestes seraient organisés dans le cadre d'une *partition gestuelle* spatio-temporelle spécifique.

Selon Browman & Goldstein (1989), les gestes articulatoires sont considérés comme des unités phonologiques ou « atoms of phonological representation ». Les gestes articulatoires, définis dans leur dynamique, peuvent être considérés comme unité de base servant à la représentation phonologique. Etant de nature spatio-temporelle et possédant leur durée propre, ils représentent l'unité phonologique primitive. Ayant une valeur contrastive, ils seront utilisés pour caractériser des données de mouvements articulatoires et pour constituer une base d'unités phonologiques. Sur la base de l'analyse et de la description des articulateurs, définis en tant que gestes articulatoires, Browman & Goldstein (1990) proposent une explication quantitative et statistique de la représentation de l'organisation articulatoire. Browman & Goldstein (1992) posent que les gestes se caractérisent par des faits physiques et réels qui se déroulent pendant le processus de production. La Phonologie Articulatoire décrit les unités lexicales selon les réalisations physiques que représentent les gestes qui deviennent alors les unités de base des contrastes des unités lexicales, autant que l'unité de base de l'action articulatoire.

Notons que chaque locuteur adapterait ses gestes articulatoires en fonction des situations de parole. Chaque langue imposerait ses propres caractéristiques, en ce qui concerne les gestes articulatoires, et cela indépendamment des contraintes de production et de perception inhérente à cette langue (Browman & Goldstein, 2000).

Les gestes décrits dans leur dynamique seront définis comme variables du conduit vocal. La théorie phonologique note deux hypothèses fondamentales : le caractère modulaire et l'invariance du geste. Au plan articulatoire, la « cible » articulatoire correspondrait à l'intersection des « positions de stabilité maximale » des différents articulateurs.

Signalons que Kirchner (2000) s'est basé sur le modèle de la phonologie articulatoire pour tenter de rationaliser l'inaltérabilité des géminées et la *lenition*. En prenant en compte deux paramètres, la position et le temps, il a réalisé les courbes suivantes correspondant au geste de l'occlusive géminée. Il a réduit l'amplitude du geste sans modifier la courbe, le résultat est une réduction de la durée de l'occlusion. Si l'on réduit encore plus l'amplitude du geste, le résultat est que l'occlusive devient spirantisée, comme le montrent les schémas suivant dans la Figure 12 :

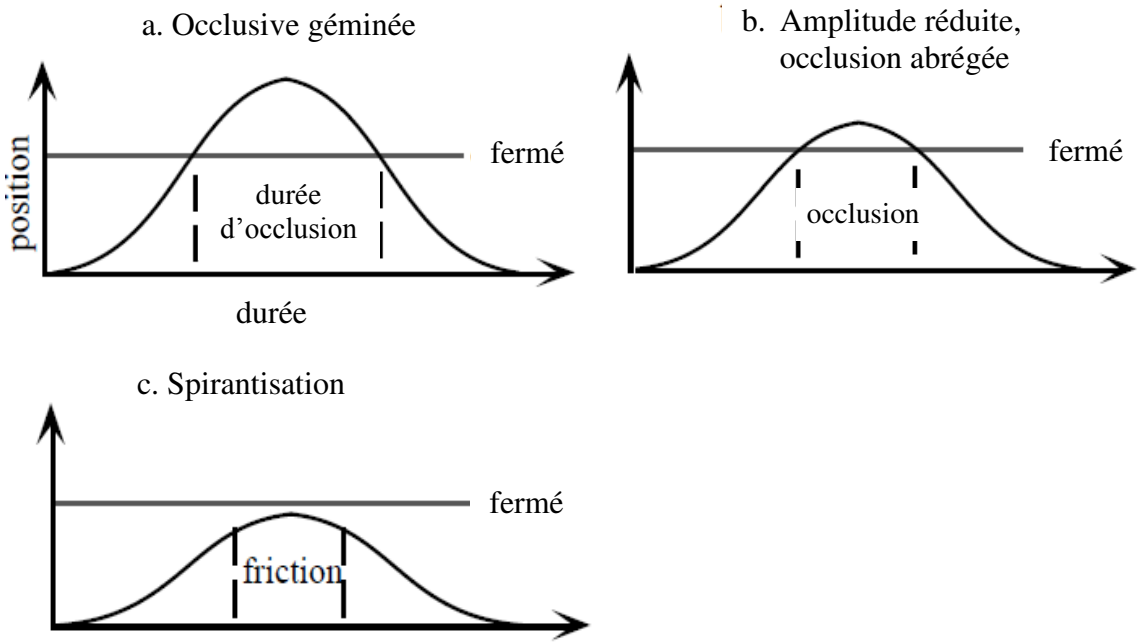


Figure 12 : Trois courbes correspondant aux gestes de (a) occlusive géminée, (b) amplitude réduite et occlusion abrégée et (c) spirantisation. (Adapté de Kirchner, 2000).

Ainsi, le processus de lénition consisterait strictement en des opérations de réduction. Si l'on change l'amplitude du geste, le résultat devient de la friction :

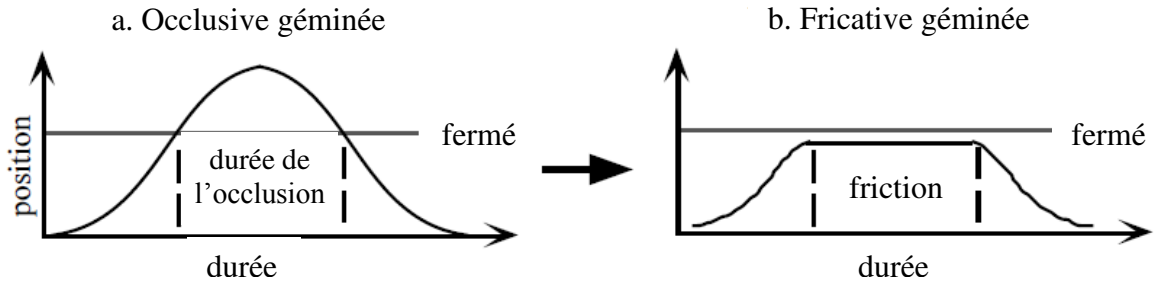


Figure 13 : Le processus de lénition modifie la courbe d'une occlusive géminée (a) à une fricative géminée (b). (Adapté de Kirchner, 2000).

Kirchner (2000) montre que la lénition n'est pas une simple réduction du geste. Néanmoins, le processus de lénition peut impliquer des modifications du geste original à cause d'une simple réduction. Comme l'a observé Romero (1995) d'après des données

articulatoires électromagnétiques sur la lénition de l'espagnol d'Andalousie, la réduction du degré de constriction est accompagnée de modification du lieu de la constriction. Les labiales réduites tendent à devenir plus rétractées et les dentales réduites tendent à devenir plus postérieures que les occlusives correspondantes.

5.4.2 Geste articulatoire et notion d'oppositions phonologiques

Fougeron (2005) rappelle que dans le modèle de la Phonologie Articulatoire, tous les mouvements inhérents à l'articulation de la parole continue ne peuvent être considérés comme des gestes articulatoires. Sont considérés comme gestes articulatoires, seuls les gestes ayant une fonction distinctive et qui permettent en conséquence le contraste phonologique. Ainsi, Fougeron (2005) donne les exemples ci-dessous pour montrer qu'il existerait trois types d'opposition en phonologie articulatoire capables de produire du sens :

- La présence ou non d'un geste. Par exemple, dans « doigt » et « oie », le premier de ces mots commence par un geste d'occlusion alvéolaire, inexistant dans le second.
- Une différence de paramétrage dynamique. Par exemple, dans « sac » et «chaque », ces deux mots commencent tous les deux par un geste de constriction critique. Cependant, le geste du premier mot est localisé à un niveau alvéolaire, alors que celui du second est situé à un niveau post-alvéolaire. Cette opposition réunit ainsi le lieu et le degré de constriction.
- La coordination temporelle. Par exemple, dans « panne » et « nappe », les mots contiennent les mêmes gestes articulatoires mais leur organisation temporelle diffère.

Fougeron (2005) montre ainsi comment ces trois types d'opposition permettent à elles seules de rendre compte, non seulement des oppositions distinctives qui existent au sein d'une même langue, mais aussi de rendre compte des différences entre systèmes phonologiques de langues différentes. Il en va de même des différences rythmiques entre les langues qui peuvent aussi s'expliquer par des différences de coordination temporelle.

La Phonologie Articulatoire présente l'avantage d'une organisation directe entre phonologie et phonétique. En se servant d'une seule unité qui sert à la fois de primitive phonologique et d'unité d'action motrice dans la production de la parole, « le Geste articulatoire », ce modèle parvient à établir un lien tangible entre le niveau phonologique et le niveau phonétique puisque ce sont les mêmes unités qui servent à la fois de représentation abstraite (et qui permettent donc le contraste entre différentes unités lexicales) et d'unité d'action dans la réalisation concrète de l'énoncé. Un Geste articulatoire est donc caractérisé en tout premier lieu par des informations sur la façon dont est réalisée cette constriction et notamment sur les différents articulateurs.

Signalons, à titre d'exemple, que Kirchner (2000) s'est fondé sur le modèle de la phonologie articulatoire pour tenter de rationaliser l'inaltérabilité des géminées et la *lenition*. En prenant en compte deux paramètres, la position et le temps, il a réalisé les courbes correspondant au geste de l'occlusive géminée. En réduisant l'amplitude du geste sans modifier la courbe, il obtient une réduction de la durée de l'occlusion. Si l'on réduit encore plus l'amplitude du geste, le résultat est que l'occlusive devient spirantisée.

Cette approche est intéressante en ce qu'elle peut nous permettre de rationaliser certains de nos résultats spatiotemporels obtenus pour le tarifit. Une autre approche est celle de la théorie de la Viabilité qui tente de prendre en compte et d'expliquer la raison d'être de la grande variabilité observée habituellement dans nos données en production de la parole. Nous proposons de discuter certaines de ces questions ci-après.

5.4.3 La Théorie de la Viabilité en production-perception de la parole

La théorie de la viabilité est une théorie mathématique qui fournit des *métaphores mathématiques* de l'évolution de macrosystèmes apparaissant en biologie, en sciences économiques, dans les sciences cognitives, ainsi que dans les systèmes non-linéaires de la théorie du contrôle (*cf.*Aubin, 1991). L'idée centrale est la suivante : les trajectoires ou les comportements que l'on observe dans les systèmes dynamiques ne sont pas des processus dictés ou prescrits. Il s'agirait plutôt d'appréhender de tels comportements comme des processus visant à écarter ce qui n'est pas compatible avec la *survie* et la *reproduction* (ou la réitération) du système dynamique en question.

Ce cadre conceptuel représente la *toile de fond* pour nos études (menées au sein de l'Equipe de Recherche « Parole et Cognition » de l'Equipe d'Accueil Linguistique, Langues et Parole de Strasbourg) sur l'apparition des structures articulatoires dans le conduit vocal,

puis acoustiques à la sortie de ce conduit ; des structures motrices et sensorielles que nous tâchons d'identifier, de quantifier et de rationaliser dans le cadre de cette théorie, entre autres Sock & Vaxelaire (2001).

5.4.4 Notions et concepts

Nous proposons d'exposer au préalable quelques notions et concepts qui devraient permettre une lecture plus aisée de la Théorie de la Variabilité, appliquée au domaine de la production et de la perception de la parole.

***Le domaine de la production de la parole* :**

Dans le domaine de la production de la parole, cette réorientation conceptuelle implique que certains phénomènes, notamment les trajectoires des gestes des articulateurs, ainsi que les formes adoptées par le conduit vocal, ne doivent plus être considérées comme des processus *prescriptifs* qui guideraient et *commanderaient* la fonction d'*optimisation* de la valeur *adaptative*. En revanche, dans une logique *proscriptive*, on pourrait concevoir l'émergence des gestes et des sons du conduit vocal, correspondant aux catégories phonétiques, comme relevant du processus qui consiste à écarter toute entité sensori-motrice qui ne serait pas compatible avec la satisfaction fondamentale de l'opposition phonologique ou linguistique (la survie), ainsi que la préservation de cette dernière, quelle que soit la condition (de vitesse d'élocution, par ex.) de production-perception de l'entité (la reproduction).

Nous savons que les individus et les systèmes linguistiques présentent de la *variabilité* (individuelle, sociolectale, régionale…) et que l'émergence de catégories phonétiques acceptables n'est que la satisfaction de deux contraintes linguistiques élémentaires, à savoir l'*opposition* des classes et le *maintien* de ces oppositions.

Vaxelaire (2007) montre dans ses travaux que le comportement des catégories phonétiques, accompagnant l'augmentation de la vitesse d'élocution, ne suit pas une trajectoire unique et optimale pour le maintien des oppositions linguistiques. Différentes organisations spatio-temporelles peuvent être empruntées, et elles sont plus ou moins variables selon les locuteurs, les contextes segmentaux et suprasegmentaux, les langues, etc. Dans cette perspective, il devient donc plus adéquat de parler de solutions *sous-optimales* dans le maintien des oppositions phonologiques ou linguistiques que de stratégies distinctives optimales, vu la grande variabilité des structures articulatori-acoustiques possibles. Malgré cette variabilité intra-classe parfois remarquable, la séparation entre les catégories phonétiques ou phonologiques reste suffisamment distincte, assurant ainsi une solution qui se

situe au-dessus d'un seuil critique. Ainsi, le système linguistique fonctionnerait sous forme d'un large filtre, n'acceptant que les trajectoires et les formes qui assurent une distinction entre les catégories de manière plus ou moins robuste (Sock, 1998).

Il s'agit, en d'autres termes, de ne plus chercher à tout prix à discerner les structures articulatori-acoustiques optimales pour, par exemples, nos oppositions simples *vs.* géminées pour expliquer le fonctionnement d'un système, même s'il est aussi performant que celui du système phonologique. Nous obtenons des résultats intéressants en tâchant, « tout simplement », de mettre au jour ces organisations articulatoires spatio-temporelles du conduit vocal et du signal acoustique qui sont possibles, puisque aboutissant à des résultats perceptifs acceptables, donc viables.

Perturbations et neutralisation d'oppositions

La dérive d'une seule catégorie en deçà d'une valeur critique et de compression de sa durée par exemple, pourrait provoquer la perte de son identité linguistique. En outre, la dérive de deux termes d'une opposition phonologique peut aboutir à la neutralisation de l'opposition linguistique, sur le plan temporel et spatial, du fait de la collision des catégories (Sock, 1998). Dans ce cas, une seule des deux trajectoires se révèle incongrue pour la viabilité de l'opposition.

La notion de *viabilité* en production de la parole est à mettre en relation avec la *résistance* des oppositions phonologiques, ainsi qu'en relation avec les trajectoires adoptées par des catégories articulatori-acoustiques, sur le plan temporel. Il importe également d'évaluer la « résistivité » des configurations du conduit vocal, le degré de leurs modifications et les conséquences acoustiques de tels changements spatiaux.

En production de la parole, différentes trajectoires peuvent être empruntées, par exemple, lors de la translation de catégories phonétiques provoquée par une augmentation de la vitesse d'élocution (voir Section : 5.5.1). En effet, de nombreuses données montrent (*cf.* Sock, 1998 ; Sock & Vaxelaire, 2001, par exemple) que cette translation ne suit pas une trajectoire unique et optimale pour le maintien des oppositions linguistiques ; les diverses trajectoires adoptées, tout en étant assez variables, restent plus ou moins viables selon les locuteurs. En d'autres termes, la séparation entre les catégories phonétiques reste suffisamment distincte malgré la variabilité intra-classe parfois remarquable. Une opposition phonologique correspondrait à un processus qui consiste à sélectionner les trajectoires possibles tant qu'elles ne violent pas la cohérence du système sémiotique. Cette procédure de sélection se ferait par tâtonnement appelé aussi *bricolage* ou *tinkering* en anglais. Sock &

Löfqvist (1995) ont pu montrer, par exemple, que les durées absolues des consonnes occlusives voisées ou non voisées pouvaient varier de manière très sensible sans pour autant que cette variabilité ait un effet destructeur sur la perception catégorielle de ces consonnes.

Ainsi, le phénomène de variabilité, omniprésent en production-perception de la parole, serait largement responsable de l'absence de cohérence apparente de certains comportements phonétiques. Cette variabilité apparente s'estompe lorsqu'elle est replacée dans la perspective de la viabilité des patterns, quels que soient leurs aspects.

Dans le domaine de la production de la parole, cette réorientation conceptuelle implique que certains phénomènes, notamment les trajectoires des gestes des articulateurs, ainsi que les formes adoptées par le conduit vocal, ne doivent plus être considérées comme des processus *prescriptifs* qui guideraient et *commanderaient* la fonction d'*optimisation* de la valeur *adaptative*. En revanche, dans une logique *proscriptive*, on pourrait concevoir l'émergence des gestes et des sons du conduit vocal, correspondant aux catégories phonétiques, comme relevant du processus qui consiste à écarter toute entité sensori-motrice qui ne serait pas compatible avec la satisfaction fondamentale de l'opposition phonologique ou linguistique, ainsi que la préservation de cette dernière, quelle que soit la condition (de vitesse d'élocution, par ex.) de production-perception de l'entité. Il s'agit, en d'autres termes, de ne plus chercher à tout prix à discerner les structures articulatori-acoustiques optimales pour, par exemples, nos oppositions simples *vs.* géminées pour expliquer le fonctionnement d'un système, même s'il est aussi performant que celui du système phonologique. Nous obtenons des résultats intéressants en tâchant, « tout simplement », de mettre au jour ces organisations articulatoires spatiotemporelles du conduit vocal et du signal acoustique qui sont possibles, puisque aboutissant à des résultats perceptifs acceptables, donc viables.

5.5 Notions et outils pour l'analyse de la gémination

5.5.1 Généralités sur la vitesse d'élocution

La vitesse d'élocution est une variable naturelle mais complexe en production de la parole. Habituellement, on distingue la vitesse d'élocution (*speech rate*) de la vitesse d'articulation (*articulation rate*).

La vitesse d'articulation, qui correspond au nombre de syllabes produit par seconde, n'inclut pas la durée des pauses, alors que la vitesse d'élocution coïncide avec le nombre de syllabes par seconde, la durée des pauses incluse.

C'est la vitesse d'élocution qui nous intéresse particulièrement ici, puisque nous l'utilisons comme *perturbateur* du système linguistique. Nous y reviendrons (*cf. infra*).

Selon certaines données attestées dans la littérature (par ex. Grosjean & Deschamps, 1975), il semble qu'un changement de vitesse d'élocution se résumerait à une réorganisation temporelle des pauses, alors que la vitesse d'articulation resterait relativement stable et constituerait une donnée constante et spécifique à chaque locuteur. Signalons, toutefois, que d'autres résultats indiquent une réorganisation temporelle de l'énoncé et non seulement de la durée des pauses (Vaxelaire, 1993 ; Sock & Vaxelaire, 2001).

En production de la parole, la coordination des gestes des différents articulateurs et l'organisation temporelle, ou le *timing* de ces gestes, sont essentielles pour que les productions linguistiques puissent émerger correctement. Pour pouvoir évaluer la *robustesse* de cette organisation spatio-temporelle du conduit vocal, lors de la production de la parole, il peut être utile d'avoir recours au *paradigme* de la variation de la vitesse d'élocution. En effet, la parole de tous les jours, produite de manière plus ou moins spontanée, est émise à des vitesses d'élocution variables.

De manière générale et catégorielle, ces vitesses d'élocution peuvent être classées en *lente*, *normale* ou conversationnelle et *rapide*. À cause de l'élasticité des mots ou des énoncés produits (Gaitenby, 1965), les segments phonétiques, constitutifs de ces mots ou de ces énoncés, peuvent subir des expansions ou des compressions, selon que la vitesse d'élocution est ralentie ou accélérée, respectivement. Malgré tout, cette élasticité des segments connait des limites ; elles sont imposées, principalement, par les contraintes physiques du système anatomo-squelettique de production de la parole et par les contraintes de clarté que le système perceptif exige. D'où les bornes décelables dans l'étendue de la variabilité spatiale et temporelle des gestes, responsables de la production des sons. Lorsque les *patterns* de ces gestes restent stables en termes absolus et/ou relatifs, on évoquera leur robustesse. Et, *a*

contrario, lorsqu'ils succombent aux changements de la variation de la vitesse d'élocution, on arrivera à évaluer leur *fragilité*.

La « résistivité » ou la robustesse de l'organisation spatio-temporelle des gestes du conduit vocal implique souvent des *réajustements* moteurs touchant à des structures spécifiques du conduit vocal. C'est ainsi qu'il nous est possible de mettre au jour les éventuelles stratégies de *compensation* motrice, souvent révélatrices du degré de *flexibilité* des structures articulatoires impliquées dans la production d'une tâche phonétique ou phonologique déterminée. Nos résultats de recherche montrent, comme nous le verrons plus tard (Chapitre 8), que la robustesse de l'organisation spatio-temporelle de telles structures provient souvent d'une contrainte phonologique ou linguistique, intervenant dans la production des mots ou des séquences de nos corpus à produire.

La littérature sur la vitesse d'élocution est très vaste, et il ne s'agit pas ici d'en faire un état de la question. Nous nous contenterons, dans ce qui suit, de simplement justifier notre choix de ce paradigme.

5.5.2 La vitesse d'élocution : un perturbateur naturel par excellence

Nous venons de le dire, en variant la vitesse d'élocution, nous espérons retrouver, dans nos analyses de l'organisation spatio-temporelle des gestes et des sons du conduit vocal, les différents patterns vocaliques et consonantiques les plus *robustes* liés aux diverses catégories phonologiques. Plus précisément, il devrait être possible, après l'analyse des données testées dans différentes conditions de vitesse d'élocution, de mettre au jour :

- les aspects temporels et spatiaux des gestes et des sons relevant de la nature intrinsèque des catégories simples et géminées ;
- les stratégies articulatoires et acoustiques individuelles ;
- les aspects des gestes liés aux contraintes bio-mécaniques du système de production (propriétés physiologiques des articulateurs, propriétés aérodynamiques, etc.).

Les perturbations induites par une augmentation de la vitesse d'élocution peuvent entraîner un changement dans la manière dont une opposition phonétique ou phonologique est réalisée : il s'agira d'une réorganisation de l'interaction des composantes du système. Ce cas de figure peut être illustré, par exemple, par le comportement des structures articulatoires et acoustiques de l'opposition phonétique (linguistique) entre consonnes simples et consonnes géminées (Bouarourou *et al.*, 2010). On verra comment (Chapitre 8), suivant certaines manœuvres spécifiques, des oppositions linguistiques sont maintenues, grâce à une

réorganisation des configurations du conduit vocal, accompagnée d'un réajustement du timing acoustique. Dans de tels cas, on constate ainsi l'émergence de nouvelles stratégies face à la perturbation induite par l'augmentation de la vitesse d'élocution.

La Figure 14, ci-dessous, montre un exemple théorique de la compression d'un segment acoustique ou articulatoire (à gauche) avec l'augmentation de la vitesse d'élocution. A droite, nous pouvons visualiser la simplification hypothétique du profil de vitesse associé à un geste critique, d'une forme asymétrique en vitesse d'élocution normale, nous passons à une forme de cloche, gaussienne, en vitesse d'élocution rapide, suivant les données habituellement attestées dans la littérature en motricité de la parole (*cf.* Abry *et al.*, 1990 ; Jomaa & Abry, 1988 ; Sock, 1998). Nous reprendrons ces observations dans la Discussion (Chapitre 8).

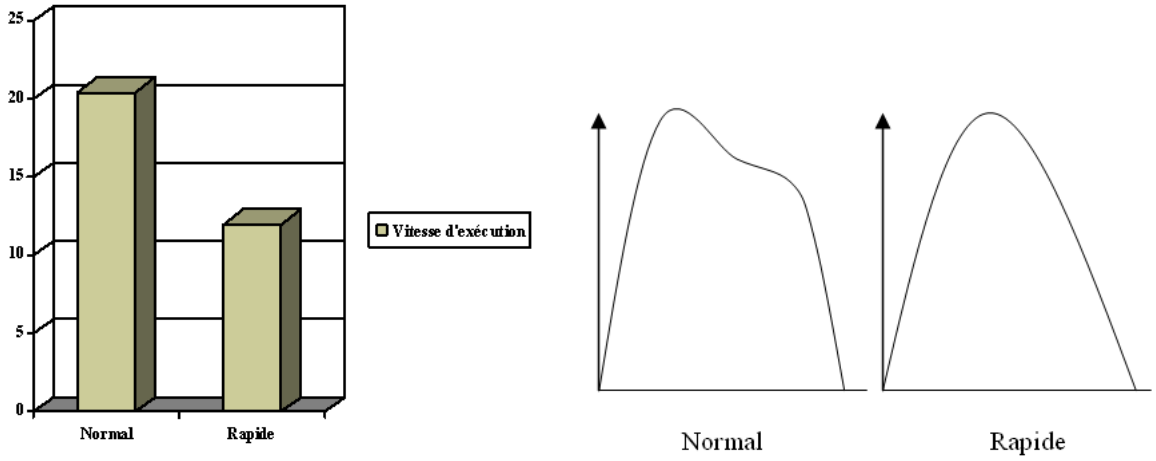


Figure 14 : A gauche, un exemple théorique de la compression d'un segment acoustique ou articulatoire avec l'augmentation de la vitesse d'élocution. A droite, une visualisation de la simplification hypothétique du profil de vitesse associé à un geste critique

Soulignons encore une fois que si ces changements structurels peuvent intervenir sans que l'organisation globale du système soit modifiée, c'est grâce, largement, à la *plasticité* du système de production-perception de la parole et à sa tendance à l'équilibre, c'est-à-dire grâce à la propriété à maintenir relativement stable la dynamique de ses états internes, ainsi que la cohérence globale de son organisation.

Il arrive parfois que le système de production-perception de la parole ne puisse plus adopter différents états cohérents, ou que son organisation n'arrive plus à garder une certaine stabilité, face à une perturbation interne ou externe : cela amène inéluctablement la *désintégration* du système et, en conséquence, la *perte de l'identité* de ses propriétés émergentes. Nous aurons ainsi affaire à des catégories sensori-motrices linguistiquement non viables.

La *variation de la vitesse d'élocution* est retenue comme *moyen naturel* de *perturbation* du système de production de la parole. Elle devrait nous permettre de repérer ces patrons spatio-temporels résistants et linguistiquement pertinents des gestes des articulateurs, lors de la réalisation d'une tâche linguistique. Elle devrait aussi offrir la possibilité d'évaluer le degré de *flexibilité* du système de production de la parole, en dévoilant les réaménagements ou les *réajustements* possibles aux niveaux intra-articulateur et inter-articulateur. Cela reviendra à analyser les différentes stratégies cognitivo-motrices utilisées par les sujets parlants pour maintenir la distinctivité phonétique des catégories phonologiques dans des conditions difficiles, en mettant en jeu divers phénomènes de *compensation* (Sock & Vaxelaire, 2004 ; Vaxelaire, 2006).

5.5.3 VOT : « Voice Onset Time »

Un indice de l'opposition de voisement qui s'avère être un bon candidat dans plusieurs langues qui connaissent ce trait phonologique est le VOT. Nous examinerons sa pertinence éventuelle pour la gémination. Rappelons ce à quoi correspond cet indice.

Le VOT, ou le délai d'établissement du voisement : « Voice Onset Time » est une mesure acoustique qui a été utilisée pour la première fois par Lisker & Abramson (1964). Ces derniers ont délimité le VOT comme l'intervalle allant du relâchement consonantique aux premières vibrations correspondant au début de voisement de la voyelle suivante. Klatt (1975), à son tour, a décrit le VOT comme l'intervalle allant du relâchement consonantique jusqu'à l'apparition de la structure formantique stable de la voyelle suivante.

Pour Cho & Ladefoged (1999), le VOT serait un trait phonologique définissable en termes de différence de durée entre l'initiation du geste articulatoire, responsable du relâchement de la closion, et l'initiation du geste laryngé responsable de la vibration des cordes vocales.

La plupart des recherches considère le VOT comme l'intervalle allant du relâchement du geste articulatoire au commencement de la vibration des cordes vocales. Cependant, en se fondant sur ce critère, il n'est pas toujours facile de spécifier ce paramètre uniquement à partir d'observations directes du signal acoustique. À noter encore que d'après plusieurs études, la durée du VOT dépendrait également de la vitesse d'élocution.

Le VOT a donné lieu à un grand nombre d'études ayant montré que ce paramètre varie en fonction du lieu d'articulation. En effet, il a été observé, entre autres, que :

1. Plus l'occlusion a lieu à l'arrière de la cavité buccale, plus le VOT est long (Fischer-Jørgensen, 1954 ; Peterson & Lehiste, 1960).

   Hardcastle (1973) et Maddieson (1997) ont suggéré que l'un des facteurs qui contribuent à ce qu'il y ait des différences de durée pour les VOT est la *taille de la cavité supraglottique*, et plus exactement au lieu de la constriction ou de l'occlusion. Ainsi, lorsqu'une occlusion a lieu, elle subdivise la cavité buccale en deux parties. Partant de ce fait, il est possible de faire deux observations :

   - La première est que la cavité derrière une occlusion vélaire a un volume plus petit que lorsqu'il s'agit d'une occlusion alvéolaire ou bilabiale.
   - La deuxième est que la cavité située avant l'occlusion de la vélaire a un volume plus important que pour une alvéolaire ou une bilabiale.

2. Plus l'aire de contact est étendue, plus le VOT est élevé (Stevens *et al*., 1986).

   Pour expliquer cela, Stevens (2000) suggère que la pression intra-orale après le relâchement change à une vitesse qui dépend de l'augmentation de l'aire à la constriction.

   Étant donné qu'une occlusive vélaire a une étendu de contact entre le dos de la langue et le voile du palais plus large, le changement de la pression d'air sera relativement plus lent que pour une bilabiale ou une alvéolaire, suite à un effet de Bernouilli. Par conséquent, la diminution de la pression intraorale, après la fermeture, est moins rapide pour les vélaires que pour les bilabiales. À noter que les données aérodynamiques de Stevens (2000) montrent que la vélocité du flux d'air à la constriction et au niveau de la glotte augmente proportionnellement avec le niveau de diminution de la pression intra-orale, durant les 50 ms suivant le relâchement de l'occlusion.

   Ainsi, le timing pour la vibration des cordes vocales serait déterminé par deux facteurs aérodynamiques qui sont en corrélation :

   - La vitesse de diminution de la pression intra-orale.
   - La vitesse d'augmentation du volume de vélocité du flux d'air.

3. Plus les mouvements des articulateurs sont rapides, plus le VOT est court (Hardcastle, 1973).

Hardcastle (1973) émet l'hypothèse que les différences en matière de début de voisement peuvent être dues, en partie, au fait que l'apex et les lèvres se déplacent plus rapidement que le dos de la langue. Quelques investigations, dont l'étude cinéradiographique de Kuehn & Moll (1976) pour des séquences VC et CV, ont permis de montrer que les mouvements articulatoires étaient plus rapides pour la pointe de la langue, plus lents pour le corps de la langue, les mouvements labiaux se déroulant à une vitesse qualifiée d'intermédiaire. À noter que cela semble s'expliquer par la masse des articulateurs impliqués, étant donné que l'apex est plus petit et plus léger que les lèvres ou le corps de la langue, il a donc une célérité plus grande (Lenneberg, 1967).

Pour compléter ces propos, il faut savoir que la mâchoire tient un rôle non négligeable dans la vitesse de mouvement de certains articulateurs tels que la lèvre inférieure et que son influence est moins importante pour d'autres. Ainsi, si la vitesse de mouvements du dos de la langue est moins affectée par les mouvements de la mâchoire, ceux de la lèvre inférieure sont accélérés par la mandibule lorsque celle-ci se déplace.

Il est fort probable que l'opposition entre consonnes simples et géminées repose aussi sur des différences de pression intra-orale durant la tenue consonantique et également sur des différences de changement de la pression d'air au relâchement. En effet, avec une tenue plus longue pour les géminées (et une étendue de contact plus large), il est à supposer que le changement de la pression intra-orale soit plus lente pour cette catégorie, ce qui aurait une incidence sur la durée du VOT, suivant les données attestées dans la littérature exposées *supra* (Stevens *et al*., 1986 ; Stevens, 2000). Le VOT des géminées devrait, en conséquence, être plus long que celui des simples.

5.5.4 VTT : « Voice Termination Time »

Un autre indice du voisement qui s'est révélé utile aussi pour caractériser le voisement ou encore pour mettre au jour des réalisations déviantes du timing des consonnes (*cf.*, par ex., Bechet (2011) ou Fauth (2012)) est le VTT.

Le VTT ou délai d'arrêt du voisement : « Voice Termination Time » est une dimension acoustique de transition entre événements vocaliques et événements consonantiques. Il est défini par la durée comprise entre le début de la tenue et la fin de la dernière période de voisement.

Agnello (1975) est le premier à avoir utilisé le VTT en le définissant comme l'intervalle allant de la dernière impulsion glottique jusqu'à la pression intra orale maximale ou la closion articulatoire. Par la suite, Sock (1983) et Abry *et al.* (1985) ont repris cette mesure en la définissant comme le temps que mettent les cordes vocales pour s'arrêter de vibrer (VT) après la disparition de la structure formantique clairement définie provoquée par une closion ou une constriction consonantique dans le conduit vocal.

D'après certaines études, le VTT varierait selon le lieu d'articulation. Suomi (1980), par exemple, a étudié le VTT en anglais et trouve que le lieu d'articulation a un effet sur la fin du voisement. Ainsi, les plus grandes durées de voisement sont constatées lorsque le lieu d'articulation recule. Cela s'explique par le fait que si le voisement est considéré comme le résultat d'un équilibre de pression transglottique, il finit plus rapidement si l'occlusion orale se fait vers l'arrière de la cavité orale que vers les lèvres. L'auteur suggère donc que la fin du voisement est une indication du début du geste d'abduction glottique. Parallèlement, Keating (1984) a observé que les intervalles de voisement les plus longs, pendant la phase médiane des consonnes sourdes, sont liés à l'antériorité du lieu d'articulation. Pour Keating (1984), ce phénomène est dû aux différences de l'aire du conduit situé derrière le lieu d'articulation, et à l'effet produit sur la vibration des cordes vocales. Autrement dit, plus l'aire est importante, plus le voisement peut être maintenu longtemps.

Nous pensons que le VTT des simples devrait être plus long que celui des géminées, étant donné que plus la tenue consonantique est brève, plus la proportion du délai d'arrêt du voisement dans cette tenue sera élevée.

Nous reviendrons plus longuement sur les critères retenus pour mesurer ces intervalles, avec des exemples graphiques en plus, dans le Chapitre 8.

A cause de l'élasticité des mots ou des énoncés produits (Gaitenby, 1965), les segments phonétiques constitutifs de ces mots ou de ces énoncés peuvent subir des expansions ou des compressions selon que la vitesse d'élocution est en ralentie ou en accélérée.

La variation de la vitesse d'élocution est retenue comme moyen naturel de *perturbation* du système de production de la parole en relation avec la résistivité de l'organisation spatio-temporelle des gestes et des sons du conduit vocal (Vaxelaire, 2006). La variation de la vitesse d'élocution est centrale dans l'analyse des données de cette étude. C'est ainsi qu'il devrait nous être possible de mettre au jour les éventuelles stratégies de *compensation* motrice, souvent révélatrices du degré de *flexibilité* des structures articulatoires impliquées dans la production d'une tâche phonétique ou phonologique déterminée.

Ce point sera revu en détail dans le Chapitre 8.

La plupart des recherches considèrent le VOT comme l'intervalle allant du relâchement du geste articulatoire de l'occlusive au commencement de la vibration des cordes vocales de la voyelle qui suit. Le VTT consiste à l'intervalle allant de la dernière impulsion glottique jusqu'à la pression intra orale maximale ou la closion articulatoire (Agnello, 1975). Cette étude se focalisera sur ces deux paramètres temporels afin de comparer les consonnes simples aux géminées dans nos analyses acoustiques.

Muni de ces notions, concepts et outils, nous pouvons maintenant aborder notre investigation sur les géminées du tarifit, en commençant par une présentation de la procédure expérimentale.

PARTIE 2

Procédure expérimentale et

Etude des paramètres temporels

Notre analyse du signal acoustique repose sur une approche articulatori-acoustique. Celle-ci nous permettra de déceler, sur le signal de parole, des événements acoustiques interprétables en termes articulatoires (Abry *et al.*, 1985). A partir de cette approche événementielle, nous tâcherons de déterminer des intervalles spécifiques, révélateurs de l'organisation temporelle ou *timing* du signal de parole, et pouvant nous permettre de retrouver dans ce substrat physique des indices qui pourraient sous-tendre l'opposition phonologique de la gémination.

6 Etude acoustique

L'étude menée dans ce chapitre a pour but de dégager les paramètres acoustiques qui permettent de distinguer les consonnes simples des géminées. Nous avons enregistré six locuteurs parlant en tarifit. Chaque locuteur a prononcé, dans un ordre aléatoire, un corpus de 27 paires minimales transcrites phonétiquement. Chacun a répété dix fois le corpus en vitesse d'élocution normale et dix fois en vitesse d'élocution rapide. Les mots ont été insérés dans une phrase porteuse : "Ini— iʒ umar" qui signifie "dis— une fois", cela pour contrôler, autant que possible, le contexte segmental et prosodique et donner un certain sens aux phrases.

6.1 Corpus

Le corpus comporte cinq paires d'occlusives : trois sourdes /t/~ /tt/, /k/~ /kk/, /q/~/qq/ et deux sonores /d/~ /dd/, /g/~ /gg/. Il comporte également quatre paires de constrictives : deux sourdes /s/~ /ss/, /ʃ/~ /ʃʃ/, et deux sonores /z/~ /zz/, /ʒ/~ /ʒʒ/. Ces paires ont été introduites en trois positions : initiale (non absolue), intervocalique, et finale (non absolue).

Les tableaux ci-dessous contiennent la liste complète des mots prononcés par les sujets ayant participé à cette expérience. Les tableaux sont classés selon le mode d'articulation des consonnes, réparties dans les trois contextes opposant les consonnes simples aux consonnes géminées. Les non-mots, précédés du symbole [*---], servent à remplacer l'un ou les deux termes d'une paire minimale.

Tableau 6 : Les occlusives sourdes

Sourdes	Initiale	Intervocalique	Finale
t	***t**ar *non mot*	ama**t**ar *masacre*	*aqa**t** *non mot*
tt	**tt**ar *demander*	ama**tt**ar *mendiant*	***aqa**tt* *non mot*
k	***k**ar non mot	*a**k**as non mot	**ʃʃ**ak *chèque*
kk	**kk**ar *se lever*	a**kk**as *enlevement*	**ʃʃ**akk *doute*
q	**q**aθ *il est là bas*	*a**q**aθ non mot	rba**q** *tonnere*
qq	***qq**aθ *non mot*	a**qq**aθ *il est là*	ja**qq** *il est allumé*

Tableau 7 : Les occlusives sonores

Sonores	Initiale	Intervocalique	Finale
d	***d**ar *non mot*	adaseɣ Je viens	isra**d** il est venu tôt
dd	**dd**ar vivre	swa**dd**aj en bas	ʕa**dd** inviter
g	***g**as *non mot*	a**g**arnez plaisenterie	rfa**g** nuée
gg	**gg**as fait le (la) qlq chose	itra**gg**ab il épie	*rfa**gg** *non mot*

Tableau 8 : Les constrictives sourdes

Sourdes	Initiale	Intervocalique	Finale
s	**s**arsar *sonner*	a**s**am *jalousie*	as *pour lui*
ss	**ss**arsar *sonnerie*	a**ss**am *éclaire*	a**ss** *jour*
ʃ	**ʃ**arʃ *associer*	maʃa *mais (prep)*	babaʃ *ton père*
ʃʃ	**ʃʃ**arʃ *association*	maʃʃa *nourriture*	rbaʃʃ *une bache*

Tableau 9 : Les constrictives sonores

Sonores	Initiale	Intervocalique	Finale
z	**z**ar *visiter*	θa**z**arθ *figue*	ra**z** *faim*
zz	**zz**ar *faux témoignage*	θa**zz**arθ *fourche*	rba**zz** *aigle*
ʒ	**ʒ**ar *entre deux choses*	a**ʒ**arθir *tapis*	ihra**ʒ** *il a besoin*
ʒʒ	**ʒʒ**ar *chaux*	a**ʒʒ**ar *voisin*	rha**ʒʒ** *pèlerin*

6.2 Les sujets

Les sujets sont deux locutrices agées de 25 et 26 ans et quatre locuteurs agés entre 27 et 35 ans au moment de l'enregistrement. Les six sujets ont tous le tarifit parlé à Nador (Maroc) comme langue maternelle, et aucun d'eux ne souffre de trouble de la production ou de la perception de la parole.

6.3 Enregistrements

Les enregistrements ont été effectués à l'Institut de Phonétique de Strasbourg dans la chambre sourde pour deux locuteurs (F et Kh), et au Maroc pour les quatre autres locuteurs (K, Y, H et S) dans des endroits silencieux.

Ces enregistrements ont été réalisés à l'aide d'un enregistreur numérique portable (Marantz Professional, model PMD 661) et d'un microphone directif (Sennheiser e835s).

6.4 Mesures et analyses acoustiques

A l'aide du logiciel PRAAT, nous avons segmenté le signal acoustique et mesuré les paramètres suivants :

a) La durée de la voyelle précédente,

b) La durée du VTT,

c) La durée de l'occlusion,

d) La durée du VOT,

e) La durée de la friction,

f) La durée de la voyelle suivante.

En ce qui concerne les occlusives sourdes, nous avons mesuré :

voyelle précédente, la durée des occlusives sourdes simples et géminées, et la durée de la voyelle suivante. Nous avons mesuré aussi les paramètres intrasegmentaux, notamment la durée du VTT, du silence acoustique et du VOT de la consonne simple et de son homologue géminée comme le montre la figure suivante :

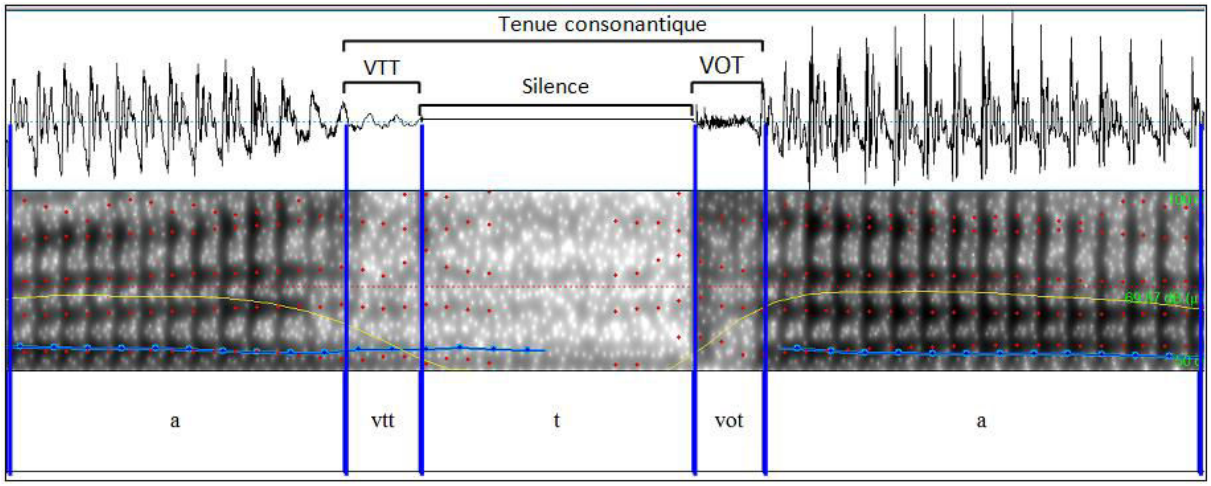


Figure 15 : Paramètres intrasegmentaux du signal acoustique de la séquence [ata]

En positon initiale (non absolue) V#CV : des paramètres intersegmentaux, notamment la durée des occlusives sourdes simples et géminées, et la durée de la voyelle suivante. Nous avons mesurée aussi des paramètres intrasegmentaux, à savoir les durées du VTT, du silence acoustique et du VOT de la consonne simple et de son homologue géminée.

En position finale (non absolue) VC#V : les paramètres intersegmentaux, à savoir la durée de la voyelle précédente et la durée des occlusives sourdes simples et géminées. Nous avons mesuré également les paramètres intrasegmentaux, en l'occurrence la durée du VTT, du silence acoustique et du VOT de la consonne simple et son homologue géminée.

En ce qui concerne les occlusives sonores, nous avons mesuré :

En position intervocalique VCV : les paramètres intersegmentaux, c'est-à-dire la durée de la voyelle précédente, la durée des occlusives sonores simples et géminées, et la durée de la voyelle suivante. Nous avons mesuré aussi les paramètres intrasegmentaux, à savoir la durée de l'occlusion et du VOT de la consonne simple, et de son homologue géminée comme dans la figure suivante :

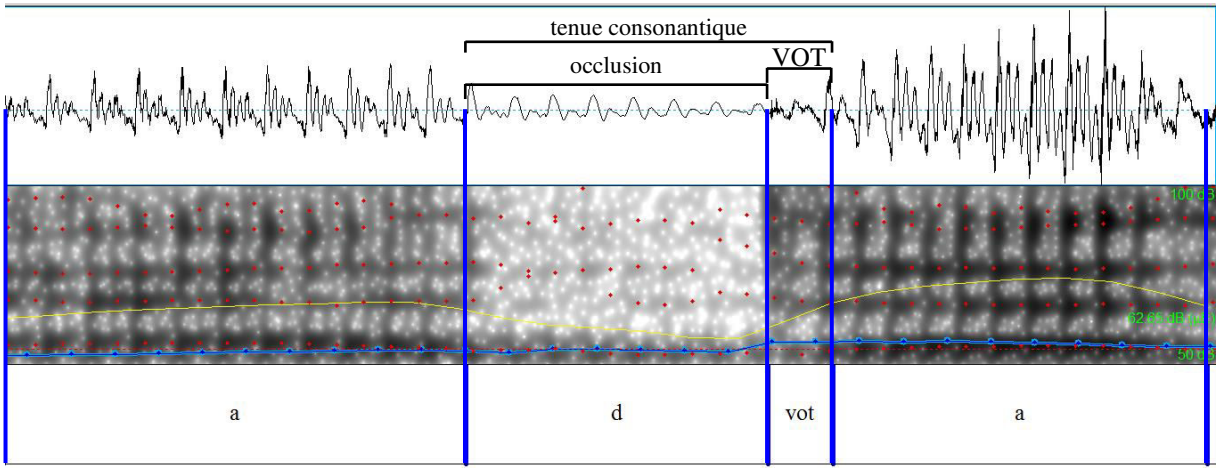


Figure 16 : paramètres intrasegmentaux du signal acoustique de la séquence [ada]

En positon initiale (non absolue) V#CV : les paramètres intersegmentaux, soit la durée des occlusives sonores simples et géminées, et de la voyelle suivante, les paramètres intersegmentaux, à savoir la durée de l'occlusion et du VOT de la consonne simple et de son homologue géminée.

En position finale (non absolue) VC#V : les paramètres intersegmentaux, notamment la durée de la voyelle précédente et la durée des occlusives sonores simples et géminées.

En ce qui concerne les constrictives sourdes et sonores, nous avons mesuré :

En position intervocalique VCV : les paramètres intersegmentaux, à savoir la durée de la voyelle précédente, la durée des constrictives simples et géminées, et la durée de la voyelle suivante comme dans l'exemple de la Figure 17 ci-dessous.

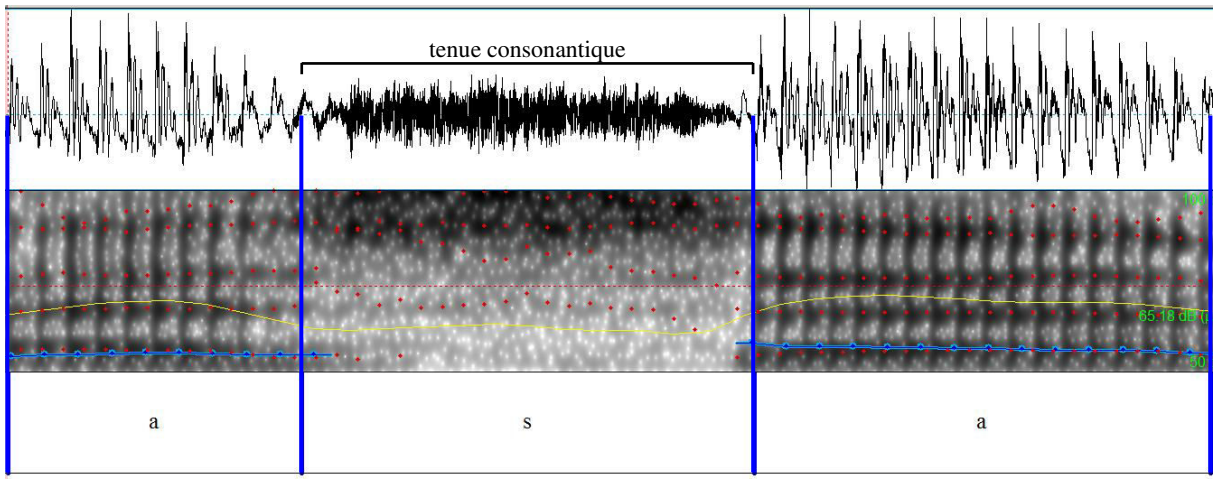


Figure 17 : Paramètres intersegmentaux du signal acoustique de la séquence [asa]

En positon initiale (non absolue) V#C : les paramètres intersegmentaux, c'est-à-dire la durée des constrictives simples et géminées, et la durée de la voyelle suivante.

En position finale C#V : les paramètres intersegmentaux, c'est-à-dire la durée de la voyelle précédente et la durée des occlusives sonores simples et géminées.

Nous donnons, ci-dessous, les critères que nous avons retenus pour définir ces intervalles :

a. La durée de la voyelle a été définie comme l'intervalle temporel entre le début et la fin de la structure formantique stable de la voyelle qui précède ou qui suit les segments simples et géminés. Cet intervalle n'a été mesuré que pour les positions intervocaliques et finales.
b. La durée du VTT (Voice Termination Time) correspond au délai d'arrêt du voisement ou à la période de transition menant à la fermeture complète du canal buccal. C'est donc l'intervalle qui va de la disparition de la structure formantique stable de la voyelle au dernier signe de périodicité dans la consonne. Le VTT a été mesuré dans les trois positions (initiale non absolue, intervocalique et finale non absolue).
c. La durée de l'occlusion a été définie comme l'intervalle temporel entre la fin du VTT et le début du relâchement. Elle a été mesurée en position initiale non absolue, suivie par la frontière de la voyelle précédente, en position intervocalique et finale. Le début de l'occlusion a été déterminé par l'offset du F2 de la voyelle précédente. (à revoir ensemble)
d. Le VOT a été déterminé comme l'intervalle temporel entre le début du burst et l'apparition de la structure formantiquement stable de la voyelle qui suit. Ce paramètre n'a été retenu que pour les positions initiales non absolues et les positions intervocaliques.
e. La durée de la constrictive a été définie comme l'intervalle temporel entre le début et la fin de la friction. La fin de la constrictive a été déterminée par l'onset du F2 de la voyelle qui suit. En l'absence de cette voyelle, comme c'est le cas pour la position finale, nous avons déterminé la fin de la fricative au moment où le bruit de friction cesse complètement.

6.5 L'analyse statistique.

Toutes les mesures extraites automatiquement à l'aide du logiciel PRAAT ont été analysées en utilisant le logiciel GraphPad PRISM. La première question concernant la distribution des consonnes simples et des consonnes géminées est de savoir si les deux catégories de *longueurs* se comportent de manière comparable avec la variation de *la vitesse d'élocution*. Pour cela, une comparaison paire-par-paire (T-test) a été effectuée entre les paires simple et géminée à chaque vitesse délocution, ainsi que entre les simples et entre les

géminées aux deux vitesses d'élocution. Nous donnons la variance avec les facteurs *f* et *df*, ainsi que la significativité de la différence des données comparées avec la valeur de *p*. Nous avons également analysé l'interaction entre *la gémination* et *la vitesse d'élocution*. Pour cela, une analyse ANOVA à deux facteurs a été conduite en considérant la moyenne des 10 répétitions de chaque locuteur comme une répétition non appariée et comme deux facteurs analysés, la gémination et la vitesse d'élocution. Pour les analyses ANOVA, nous donnons les données de variance avec le *ratio F* correspondant à la variabilité entre les locuteurs et la valeur de *p.* En complément, des ANOVA à deux facteurs, nous avons également effectué des T-test entre la durée des consonnes simple en vitesse d'élocution normale et les consonnes géminées en vitesse d'élocution rapide. Seuls les résultats avec une probabilité de moins de cinq pour cent ($p<0.05$) sont considérés comme significatifs.

Nous avons pu définir les paramètres acoustiques qui permettraient de distinguer les consonnes simples des géminées. Nous avons enregistré six locuteurs. Chaque locuteur a prononcé, dans un ordre aléatoire, un corpus de 27 paires minimales, répété dix fois, d'abord en vitesse d'élocution normale, puis en vitesse d'élocution rapide. Le corpus comporte cinq paires d'occlusives : trois sourdes et deux sonores. Il comporte également quatre paires de constrictives : deux sourdes et deux sonores. Ces paires ont été introduites en trois positions de mot : initiale (non absolue), intervocalique, et finale (non absolue).Les sujets sont deux locutrices agées de 25 et 26 ans et quatre locuteurs agés de 27 et 35 ans, au moment de l'enregistrement. Les enregistrements ont été effectués à l'Institut de Phonétique de Strasbourg dans la chambre sourde, pour deux locuteurs (F et Kh), et au Maroc pour les quatre autres locuteurs (K, Y, H et S) dans des endroits silencieux. Nous avons segmenté le signal acoustique et mesuré les paramètres (intersegmentaux et intrasegmentaux) suivants : a) la durée de la voyelle précédant la consonne cible, simple ou géminée ; b) la durée du VTT ; c) la durée de l'occlusion ou du silence acoustique ; d) la durée du VOT ; e) la durée de la friction ; f) la durée de la voyelle qui suit la consonne cible. Toutes les mesures ont été soumises à des analyses statistiques.

Présentons maintenant la technique qui avait été retenue jadis pour l'acquisition des données cinéradiographiques, extraites de la base de données de l'Institut de Phonétique de Strasbourg.

7 La radiocinématographie, acquisition et traitements des radiofilms

Un aperçu historique[6]

C'est Roentgen qui a découvert les rayons X en 1895, ce qui a contribué à une avancée considérable pour l'étude des gestes des articulateurs, et notamment ceux situés à l'intérieur du conduit vocal. En effet, les rayons X ont pour propriété essentielle de traverser la matière et de déterminer des zones plus ou moins foncées selon la plus ou moins grande opacité des tissus traversés. En remontant jusqu'à 1916, on constate que Pacocelli-Calzia (1918) et Navarro-Tomás (1950) avaient décidé d'utiliser les rayons X pour des études phonétiques et de fixer sur des plaques photographiques les positions des articulateurs, vues de profil, de la mâchoire aux fosses nasales et au larynx. Cependant, le premier avait donné l'impulsion décisive aux travaux réalisés dans le domaine de la phonétique Chlumsky (1913), et cela au sein de l'École de Prague. Ses travaux furent relayés par la suite par ceux de Hala & Polland (1926), suivis ensuite par de nombreux travaux entrepris aussi bien en Allemagne, en Angleterre, en Finlande, en France et aux États-Unis (pour une revue historique détaillée, voir Simon (1967) et Simon *et al*. (2010) pour les travaux réalisés spécifiquement à l'Institut de Phonétique de Strasbourg).

Avec l'avènement d'amplificateurs de brillance, permettant un gain de contraste de 1 à 1000, le progrès dans l'observation des mouvements des articulateurs sera décisif. Grâce à la meilleure résolution qu'ils permettent, il devient dès lors possible de réaliser des films à des vitesses de 36, 50, voire 100 images par seconde, avec une bonne qualité d'images. Dans la francophonie, quelques centres se spécialisent : à Strasbourg avec Straka (1963) et Simon (1967) ; à Paris avec Pernot et G'sell (cité *in* Simon (1967)), ainsi qu'au Québec avec Gendron (1966), Rochette (1973), Charbonneau (1971) et Santerre (1971). Un nombre impressionnant de films sur une grande variété de langues vont y être réalisées entre 1960 et 1985.

Un intérêt particulier est porté aux relations entre articulation et acoustique à partir du Congrès de Phonétique d'Helsinki (1961) ; la radiocinématographie apporte une contribution décisive au développement de théories sur la production de la parole, et aux premiers essais de synthèse de type articulatoire (Fant, 1960 ; Mermelstein, 1973).

[6] Cette section doit beaucoup aux travaux de Péla Simon (1967), ainsi qu'à nos échanges avec Vaxelaire (2007) et Vaxelaire *et al.* (2009).

Questions de méthodologie

L'utilisation de la radiocinématographie en phonétique nécessite l'adaptation d'un matériel utilisé principalement pour le diagnostic médical à une utilisation pour la recherche fondamentale sur la production de la parole. Ce type d'études requiert en effet des précautions spécifiques pour permettre une exploitation satisfaisante des données recueillies. Il faut d'abord choisir un type d'exposition et une vitesse de défilement du film qui offre le meilleur rapport possible entre qualité des images et mobilité des organes examinés. La résolution spatiale et temporelle doit permettre une étude détaillée des mouvements des articulateurs et de la chronologie de leurs déplacements. Il faut également que la procédure retenue rende possible l'examen des phénomènes de coordination entre les articulateurs impliqués dans la production d'une séquence de segments phonétiques. Pour les études sur la parole, le compromis suivant a été le plus souvent adopté : utilisation de films au format 35 mm et vitesse de prise de vues égale au minimum à 50 images par seconde. Le dispositif expérimental imposé par la technique de radiocinématographie (Figure 18) est assez lourd (Brock, 1977 ; Vaxelaire, 2007); parmi les mesures à adopter dans la procédure d'enregistrement, il convient de s'assurer que la position de la tête du locuteur reste fixe sans que les mouvements des articulateurs ne soient contrariés (ou se déplace très peu et dans des conditions connues permettant des mesures correctives). Il faut veiller à réaliser une calibration permettant, au moment de l'analyse, de reconstituer les dimensions réelles du tractus et de mesurer précisément les distances parcourues par les articulateurs. Pour la même raison, les déformations éventuelles apportées par les objectifs et les dispositifs de prise de vues doivent être évaluées de manière rigoureuse. Enfin, il faut s'assurer de la parfaite synchronisation entre les données radiologiques et le signal acoustique.

7.1 Description de l'appareillage et d'une séance d'enregistrement

La Figure 18 ci-dessous est un schéma de la salle de radiologie utilisée lors d'une acquisition de données cinéradiographiques par l'Institut de Phonétique de Strasbourg au Centre Hospitalier CMCO de Schiltigheim (Bas-Rhin).

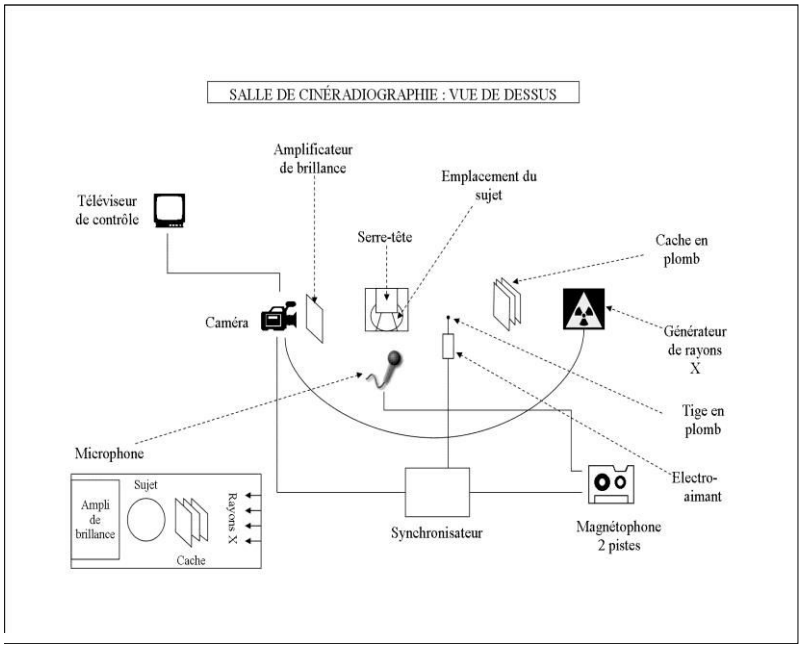


Figure 18 : Schéma de la salle de radiologie lors de l'acquisition des films cinéradiographiques (d'après Vaxelaire, 2007).

Le locuteur, au centre de l'image, est habillé d'un manteau de plomb afin de le préserver des rayons diffus. Il est assis sur une chaise adaptée, et sa tête est maintenue à l'aide d'un serre-tête, comme mentionné plus haut dans cette section, dans le but de limiter des mouvements parasites qui rendraient la prise de mesures délicate. Il suffirait en effet d'une légère rotation de la tête pour que la mesure de l'amplitude des gestes soit imprécise, la coupe sagittale s'en trouvant modifiée. Le sujet est filmé à l'aide d'une caméra qui a évolué selon les époques : les premiers films réalisés par les chercheurs de l'Institut de Phonétique de Strasbourg ont ainsi été faits en 16 mm, avant que l'hôpital ne se dote d'une caméra 35 mm, format qui a été le plus souvent utilisé par la suite. Notons qu'à partir de la fin des années '90, le centre hospitalier s'est muni d'un système vidéo numérique, délivrant directement des fichiers informatique au format DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine). Les films que nous avons extraits de la base de données de l'Institut de Phonétique de Strasbourg pour la présente étude sont au format DICOM (25 Hz).

Entre le locuteur et la caméra se trouve l'amplificateur de brillance. Ce dernier, qui se situe à environ 20 cm du sujet, permet de capturer les variations du champ de rayons X, modifiées par la densité des tissus traversés, et de transformer ces fluctuations d'intensité en des variations de lumières proportionnelles. L'amplificateur de brillance fait converger vers un champ de dimensions réduites, les électrons produits sur l'écran fluorescent et détermine ainsi une augmentation de la luminosité, qui devient ainsi environ mille fois plus grande que celle

d'un écran de scopie ordinaire. Cette augmentation de luminosité permet de diminuer considérablement la dose de rayons X tolérables par le sujet.

A l'opposé de la caméra et de cet amplificateur de brillance, se trouve le générateur de rayons X. Ces rayons X ne sont pas émis en continu, mais qu'il s'agit d'émissions par impulsions d'une durée de 2 ms, émissions qui se font en coordination avec l'ouverture du diaphragme de la caméra. Les rayons ionisants ne sont donc diffusés que pendant près de 10% de la durée totale des films. Signalons encore que le locuteur se trouve à 30 cm de ce générateur.

Certains tissus, tels que les lèvres par exemple, ne sont pas visibles lorsque la propagation des rayons X est à son maximum. D'où la présence d'un cache en plomb, placé entre le locuteur et le générateur de rayons X qui a pour but d'atténuer la densité des rayons, cela pour mieux discerner le contour de certains articulateurs.

Par ailleurs, une petite tige en plomb est également placée dans le champ, de façon à ce qu'elle soit visible, mais qu'elle n'entre pas en contact avec les articulateurs qui seront étudiés. Cette tige est reliée à un interrupteur qui est placé dans la cabine de radiologie. Au début de chaque séquence, une impulsion est donnée sur l'interrupteur, impulsion qui fait descendre la tige à l'aide d'un aimant. Une fois que la barrette arrive à son niveau le plus bas, son contact avec l'aimant provoque un signal sonore qui est amplifié et qui permet une post-synchronisation des images avec le son, comme nous le verrons plus bas.

Figure 19 : Représentation d'une photographie réalisée au moment de l'acquisition du film cinéradiographique.

Figure 20 : Installation de cinéradiographie et exemples d'images extraites de radiofilms (Vaxelaire *et al.*, 2009).

Enfin, il est utile de signaler qu'une fois l'enregistrement terminé, une grille de calibrage est positionnée à l'emplacement exact de la tête du locuteur.

En ce qui concerne l'enregistrement de la voix, il s'effectue à l'aide d'un microphone placé à 20 cm des lèvres. Pour nos films, plus récents, le son est enregistré sur un enregistreur DAT.

Etant donné que le son a parfois pu être enregistré directement sur un support numérique, comme ce fut le cas pour nos investigations, la méthode de synchronisation était relativement simple. En effet, la correspondance entre les données visuelles et sonores s'obtient alors en faisant correspondre le « top » provoqué par la tige en plomb, avec l'emplacement de cette barrette sur les images (Connan *et al.,* 2003). En d'autres termes, cette technique consiste à faire coïncider le début du bruit de la tige sur le signal acoustique avec la première image où cette même tige est à sa position la plus basse (voir Figure 21). Précisons que pour réaliser cette opération, le « top » provoqué par la tige était enregistré, tout comme l'audio, sur un canal de l'enregistreur digital.

Figure 21 : La tige réalise un mouvement vers le bas et provoque au contact de l'aimant un bruit que l'on retrouve sur le signal acoustique.

L'analyse des données pose en particulier des difficultés spécifiques, liées à l'extraction des contours des articulateurs à partir de trames individuelles des films radiologiques, à la correction des mesures à partir des grilles de calibration, et au choix des mesures les plus pertinentes.

7.3. Exploitation des radiofilms

7.3.1. ***Représentation sagittale***

Les radiofilms fournissent une information dans le plan sagittal de la position et des déplacements d'un certain nombre d'articulateurs tels que les lèvres, la mâchoire, la langue, le voile du palais, le pharynx, l'os hyoïde et le larynx.

[i] [k] [y]

Figure 22 : Illustration de la coordination motrice entre plusieurs articulateurs dans une séquence [iky] (in Vaxelaire *et al*., 2009).

7.2 Extraction des contours, tracés radiologiques, méthodes manuelles, semi-automatiques et automatiques

L'analyse des données cinéradiographiques nécessite une connaissance précise des contours du conduit vocal étudié. La plupart des recherches utilisant cette technique ont reposé sur une extraction manuelle des contours. Pour ce faire, les films en 35 mm sont projetés, en chambre noire, sur un plan de travail à l'échelle 1 (Figure 23 à gauche). Cette échelle est obtenue en projetant la grille de référence ci-dessous sur le plan de travail (Figure 23 à droite) et en réglant l'appareil de visualisation de telle sorte que la longueur entre deux repères soit de 1 cm. Une fois ce résultat atteint, les images du film correspondant sont projetées sur le plan de travail. Il s'agit alors de dessiner le contour des articulateurs requis lors de la production de la parole, à savoir les dents, les lèvres, la langue, la mandibule, l'épiglotte, l'os hyoïde, le larynx, le palais, le voile du palais…

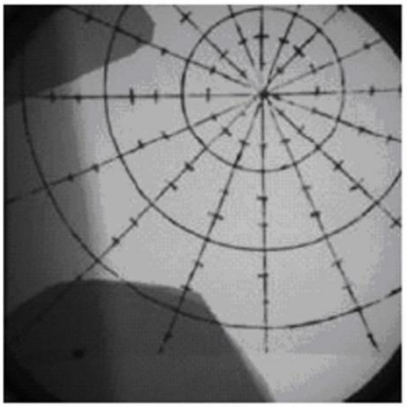


Figure 23 : Exemple d'un plan de travail avec projecteur utilisé pour le traçage manuel des radiogrammes (à gauche), et un exemple d'une grille de référence projetée sur le plan de travail (*à droite*). (in Vaxelaire *et al*., 2009).

L'extraction des contours et la mesure de la position de la langue ne sont pas une tâche aisée, dans la mesure où le contraste entre les tissus est relativement faible, et qu'il est souvent nécessaire, même pour un expert phonéticien, de revoir plusieurs fois les séquences de parole filmées et analysées avant de pouvoir déterminer la limite des contours de la langue. Il est parfois utile de revenir sur des images et de visualiser celles qui sont à venir pour délimiter, avec le plus de précision possible, la position de la langue sur l'image étudiée. En outre, l'expert phonéticien doit parfois choisir entre plusieurs contours de la langue. En effet, certaines images présentent parfois un contour sur le plan médian de la langue ainsi que sur ses côtés, ce qui donne lieu à deux, voire trois, contours de la langue. Généralement, c'est le contour correspondant au plan médio-sagittal de la langue qui est privilégié (voir Figure 24), malgré le fait que les deux côtés de la langue sont susceptibles d'avoir un impact phonétique. De ce fait, la réalisation de tracés des images individuelles des radiofilms est une tâche particulièrement fastidieuse qui peut limiter l'ampleur des études.

Le recours à des techniques automatiques et semi-automatiques a été ainsi recherché et les résultats obtenus sont sujets à une analyse scrupuleuse. Ce recours à des techniques informatiques s'explique également par le fait que le support sur lequel figure nos films, qui sont parmi les films les plus récents, a évolué, puisqu'il s'agit de fichier informatique au format DICOM. Il en va de même pour l'analyse des films de 35 mm numérisés, ou en cours de numérisation qui requièrent un traitement digital également.

Figure 24 : Exemple de croquis de radiogramme (d'après Vaxelaire, 2007)

Le LORIA (Laboratoire lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications) de Nancy, sous la direction de Yves Laprie, et en collaboration avec l'Institut de Phonétique de Strasbourg, ont développé un logiciel *X-Articulator* dans le cadre d'un projet de recherche DOCVACIM (Sock *et al.,* 2011). Ce logiciel vise à obtenir le contour des différents articulateurs de manière automatique ou semi-automatique. Il fonctionne dans un environnement Linux et permet, à partir de n'importe quel support numérique converti en format .pgm, d'obtenir un suivi automatique des mouvements labiaux, mandibulaire, de l'os hyoïde et du larynx sur tout un film (Figure 25). En ce qui concerne le tracé de la langue, il fait l'objet d'un suivi semi-automatique sur la totalité du film. L'expert a pour tâche de placer un certain nombre de points sur le contour de la langue pour une sélection d'images d'un film. Cette procédure permet d'initialiser le traitement et rend possible le recalage systématique du tracé automatisé. Nous reviendrons, *infra*, un peu plus en détail sur nos mesures effectuées à l'aide de *X-Articulator*.

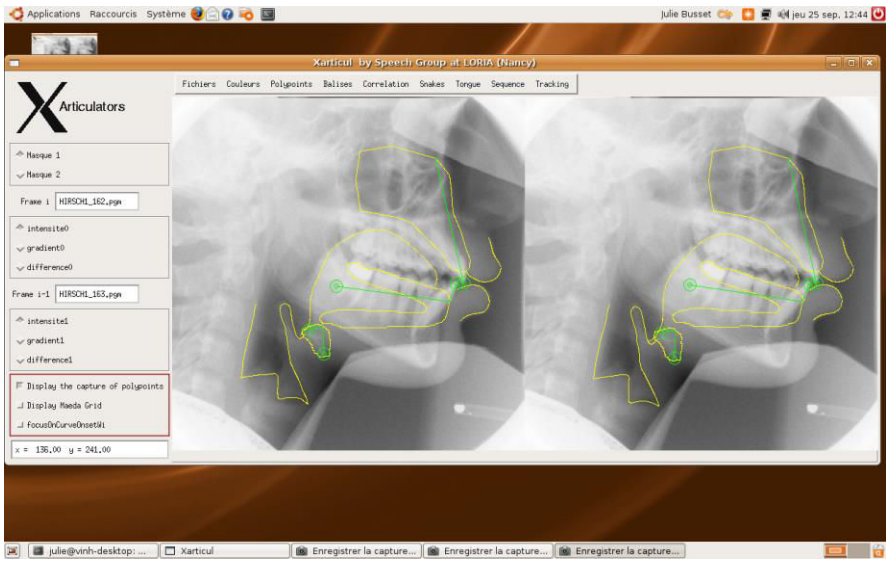


Figure 25 : Interface de X-Articulators (LORIA, Nancy).

7.3.3. Types de mesures

Il existe plusieurs méthodes de calcul pour mesurer les déplacements des différents organes articulatoires et les modifications de la forme des résonateurs. Une première méthode, à base de références angulaires (coordonnées semi-polaires), est utilisée dans le dépouillement de données nombreuses relevées sur des sujets différents. Elle a, si l'on peut dire, l'avantage de procéder de manière « aveugle » et de ne reposer sur aucun pré-requis de connaissances phonétiques. Cette approche peut être utile pour des études sur les relations entre l'articulation et l'acoustique, et pour le développement de modèles articulatoires de production de la parole. Le modèle de Maeda (1990) a, par exemple, obtenu des résultats très intéressants à partir de cette méthode.

Mais revenons sur la grille de mesures évoquées plus haut, ainsi que sur la méthode utilisée pour la prise de mesures manuelle. Etant donné que les configurations du tractus vocal sont différentes pour chaque locuteur, il est nécessaire de réaliser une grille pour chaque sujet. La grille de mesure fonctionne par rapport à un repère orthonormé (Figure 26) qui est tracé au préalable sur du papier calque millimétré. L'utilisation d'un repère orthonormé présente l'avantage d'être un moyen efficace pour mesurer les distances dans le tractus vocal : il permet en effet d'observer les déplacements maximaux : la projection des lèvres, le déplacement de la langue, de la mandibule…

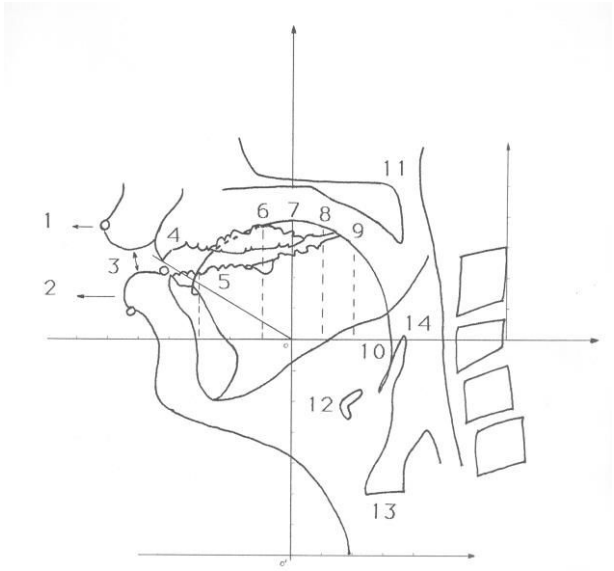


Figure 26 : Exemple de grille de mesures.

Une fois le repère orthonormé tracé et avant de prendre des mesures, il convient de choisir une image de référence que l'on préférera neutre, nette et sûre du point de vue des contours. L'image de référence peut, par exemple, être une position de repos où les lèvres ne sont pas projetées, la langue n'est pas en mouvement et le velum est abaissé, ce qui laisse

libre le passage de l'air vers les fosses nasales. La méthode consiste ensuite à reproduire sur le calque millimétré, où le repère orthonormé a été tracé auparavant, l'incisive supérieure et le palais dur. Rappelons qu'il s'agit des seuls éléments fixes du tractus vocal, en faisant ainsi des points de références particulièrement fiables. La pointe de l'incisive est placée de telle façon qu'elle soit à 5 cm du point 0. L'oblique ainsi obtenue doit sectionner l'angle droit du repère orthonormé en deux parties égales. Cette partie décalquée sera ensuite à superposer sur chaque croquis le plus finement possible. Le repère orthonormé permet de mesurer la courbure de la langue et d'indiquer son déplacement dans la cavité buccale.

Revenons maintenant, dans les détails, sur les démarches que nous avons suivies pour la prise de nos mesures, faite de manière automatique ou semi-automatique (Busset, 2013)

L'image du locuteur dans la Figure 27 correspond à une vue sagittale qui montre, outre les différents articulateurs, les structures osseuses de la tête.

On voit clairement l'os de la *mâchoire inférieure*, une structure rigide qui ne se déforme pas dans le temps. Son déplacement s'effectue uniquement dans le plan sagittal et correspond à un mouvement de rotation et de translation. Etant donné la rigidité de cette structure, ainsi que la trajectoire relativement régulière de ses déplacements, il devient possible d'opérer un suivi automatique par corrélation pour calculer ses mouvements. Le suivi par corrélation consiste à rechercher dans une image une région donnée correspondant à une région de référence. La région déplacée suit un mouvement rigide composé d'une rotation et d'une translation.

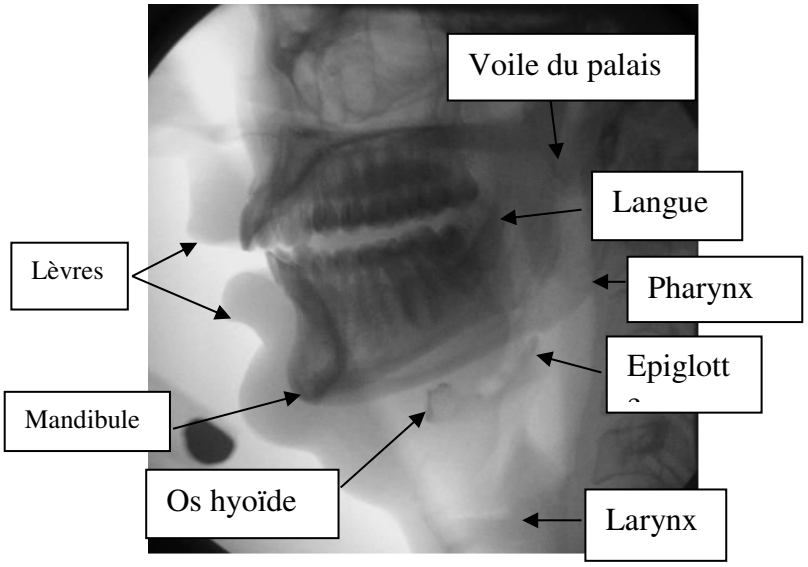


Figure 27 : Radiographie d'une vue sagittale du conduit vocal

L'algorithme de suivi démarre par le choix d'une image de référence. Sur cette image, une région associée à la mâchoire doit être déterminée de façon à ce qu'elle apparaisse sur toutes les autres images de manière précise. La région choisie ne doit pas chevaucher le filtre, visible dans le coin, en bas à droite de l'image, et il est préférable aussi que son intersection avec la langue soit limitée au minimum. Cette région retenue pour le suivi est représentée dans la Figure 28.

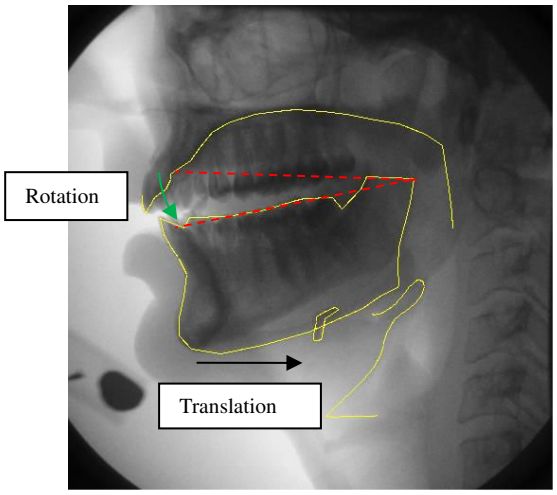


Figure 28 : L'image de référence de la mâchoire qui apparait sur toutes les autres images

Signalons que pour chaque image de la séquence, on recherche la région de référence à une rotation et une translation près. Les paramètres du mouvement ainsi obtenus constituent les paramètres du mouvement de la mâchoire. La figure11 montre un exemple de résultat obtenu à partir du suivi par corrélation. Cette image est l'image de référence retenue, sur laquelle une région pour la mâchoire a été définie et sur laquelle la rotation et la translation calculées ont été appliquées.

La position des *incisives inférieures* est définie par un point dans le plan sagittal ; ce point se situe sur la partie supérieure des incisives inférieures. Le plancher de la bouche est représenté par un contour tracé manuellement. La position des incisives inférieures et le plancher de la bouche sont définis sur l'image de référence utilisée pour initialiser le suivi de la mâchoire. Leur position est obtenue en appliquant le mouvement obtenu pour la région de la mâchoire (voir Figure 28).

L'algorithme de suivi par corrélation peut être utilisé pour toutes les structures rigides qui ne sont pas entièrement recouvertes par d'autres organes. En effet la corrélation n'est plus pertinente lorsque deux organes indéformables se recouvrent trop. Ainsi dans la quasi-totalité des films disponibles il est possible de suivre la position de l'os hyoïde par corrélation parce

que l'os hyoïde n'est pas caché par d'autres structures osseuses. Ce n'est hélas pas le cas pour le locuteur F pour lequel l'os hyoïde remonte beaucoup et est partiellement caché par la mandibule (voir Figure 29), ce qui fait échouer le suivi par corrélation. Nous avons utilisé les outils de déplacement manuel des contours offerts par *X-Articulator* pour corriger les positions incorrectes. Plus généralement, *X-Articulator* est conçu de manière à pouvoir éditer manuellement les résultats des suivis automatiques ou semi-automatiques. Il est ainsi possible de corriger point par point tous les contours, ou de leur appliquer des rotations et des translations de manière à les positionner au mieux.

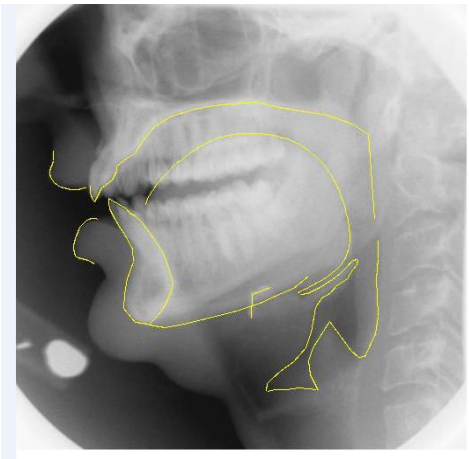


Figure 29 : Le cas d'un os hyoïde remonté et partiellement caché par la mandibule

Le suivi est aussi utilisé pour connaître le mouvement de la *tête*. En effet, malgré le fait que la tête du locuteur soit maintenue à l'aide d'un serre-tête, on peut tout de même constater de légers mouvements de la tête. Comme pour la mâchoire, on définit une région dans la partie supérieure de la tête, puis son mouvement (une rotation et une translation) est calculé pour les autres images.

Le mouvement de la tête permet d'obtenir le contour du *palais dur*. En effet, le palais dur suit le même mouvement que la tête. C'est pourquoi, le contour du palais dur est tracé sur l'image de référence auquel on applique le mouvement de la tête pour les autres images (Figure 29).

Etant donné que les *lèvres* se déplacent en se déformant très légèrement dans le temps, il n'est pas possible de suivre leur mouvement automatiquement par corrélation, à l'aide une image de référence. Les contours des lèvres sont visibles et ne sont pas recouverts par d'autres organes. En outre, en observant visuellement les images, on constate que de nombreuses formes labiales sont semblables. En conséquence, le tracé des lèvres sur toutes les images serait inutile étant donné la forte ressemblance entre les formes. C'est donc le suivi semi-automatique proposé par Fontecave & Berthommier (2006) qui est retenu. Il s'agit, en

substance, de tracer les contours sur un nombre réduit d'images clés, puis de calculer les contours sur les autres images à parti de ces images clés.

Pour détourer les contours d'une image inconnue, on calcule la distance DCT (Discrete Cosine Transform ou Transformée en Cosinus Discrète en français) avec les images clés. On retient les trois images clés les plus proches de l'image à traiter, et le contour résultat est obtenu en pondérant les contours tracés sur les images clé par leur distance (à l'image à traiter). Cet algorithme de suivi opère donc par indexation de l'image inconnue dans la base des images clé. Le suivi marche d'autant mieux que le nombre d'images clés est grand et que les images clés reflètent bien la variabilité des images à traiter. Quand le suivi échoue sur une image, ses contours sont corrigés et elle est ajoutée aux images clés. Les performances du suivi s'améliorent donc itérativement

Pour que la distance DCT soit pertinente, il faut que la région sur laquelle elle s'applique ne concerne que le contour que l'on veut suivre. Pour cette raison, on délimite préalablement la région qui contient le contour à suivre dans toutes les images. Cette région n'est pas forcément rectangulaire de manière à ne considérer que le contour à suivre. De manière à automatiser ce processus, la région d'intérêt est positionnée automatiquement par rapport à la région indéformable, en l'occurrence la partie basse des os du crâne, qui a été repérée pour toutes les images de la séquence.

L'*épiglotte* et le *larynx* possèdent les mêmes caractéristiques que les lèvres, c'est-à-dire qu'ils se déforment légèrement, possèdent un contour visible et ne sont pas recouverts par d'autres organes.

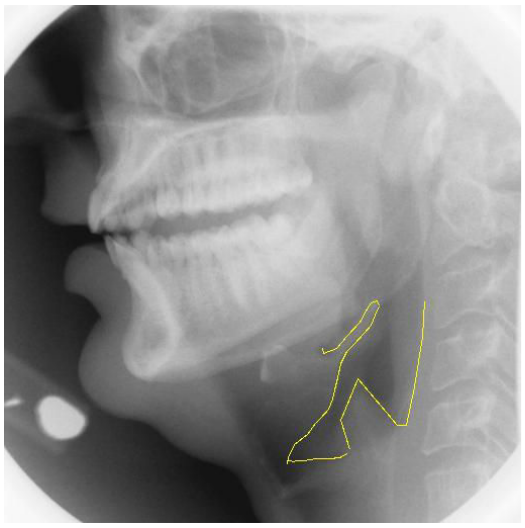


Figure 30 : Image cinéradiographique présentant les contours utilisés pour l'épiglotte et le larynx.

C’est par conséquent le même algorithme de suivi que celui pour les lèvres qui est utilisé. La Figure 31 (épiglotte) montre les contours des régions utilisées pour le suivi de l’épiglotte, de la paroi fixe du pharynx et du larynx. La région utilisée pour l’épiglotte est hachurée en rouge. Elle a été choisie de manière à contenir le contour de l’épiglotte dans toutes les images tout en conservant une taille minimale pour limiter l’influence des autres structures déformables ou rigides. Les deux autres régions utilisées respectivement pour la paroi du pharynx et le larynx ont été choisies de la même manière.

Le dernier articulateur étudié est la *langue*. La langue est l’articulateur le plus difficile à suivre automatiquement. Plusieurs études sur le suivi automatique de la langue ont montré que cette tâche n’est pas aisée (Berger *et al.,* 1995 ; Thimm & Luettin, 1999 ; Fontecave & Berthommier, 2006).

Tout d’abord, il faut rappeler que la forme de la langue peut conduire à plusieurs contours dans le plan sagittal. En effet, la langue présente un sillon central, une vue sagittale peut donc faire apparaître deux contours (voire trois si la langue n’est pas symétrique). De plus, le contour peut être caché par d’autres organes comme les dents ou les os de la mâchoire. C’est pourquoi les contours de la langue ont été tracés manuellement avec le logiciel *X-Articulator.* Le contour de la langue tracé est celui correspondant au sillon central.

Afin de faciliter le traçage des contours, le logiciel *X-Articulator* permet d’afficher rapidement les images précédentes ou suivantes de l’image en cours d’analyse. En effet, la visualisation du mouvement aide souvent à situer le contour de la langue qui peut être confondu avec d’autres organes.

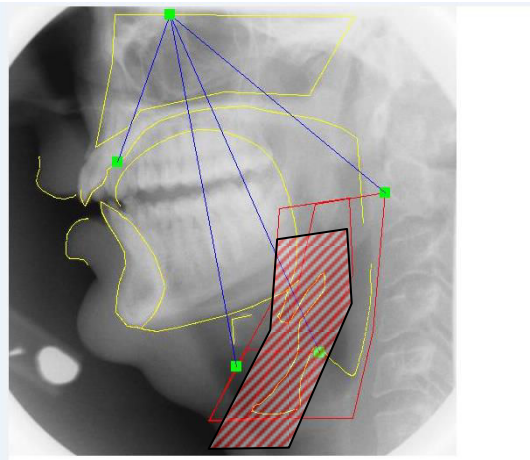


Figure 31 : Les régions utilisées pour le recalage des images cinéradiographique.

La région en haut de l’image qui correspond aux fosses nasales est utilisée pour recaler les images entre elles en soustrayant le mouvement global de la tête à chacune des images de

la séquence. Les régions utilisées pour le suivi semi-automatique sont représentées en rouge. Celle correspondant à l'épiglotte est hachurée en rouge pour mieux la mettre en évidence. La position de chacune de ces régions est définie relativement à celle (située dans les fosses nasales) utilisée pour le recalage des images entre elles. Les traits bleus représentent le lien entre les régions. Un autre lien existe entre la région de recalage des fosses nasales et le palais parce que la position relative du palais a été définie pour une image de référence de la séquence. Une fois que la position de la région de recalage est déterminée à l'aide du suivi par corrélation, éventuellement corrigée manuellement, la position du palais est aussitôt connue parce que donnée par ce lien.

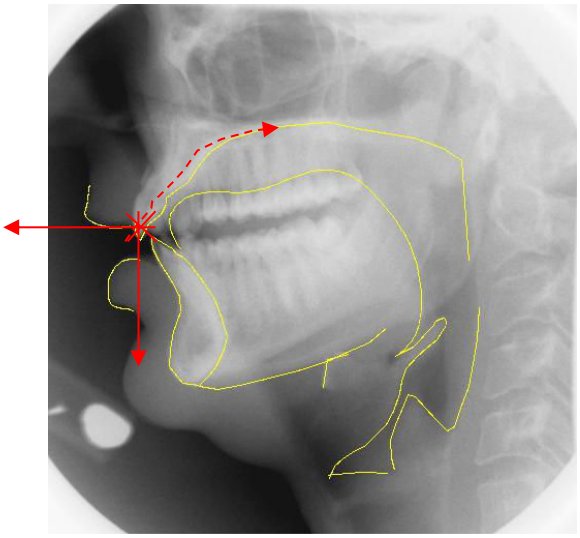


Figure 32 : Repère géométrique utilisé pour la mesure de la position des articulateurs ou de la constriction.

Nous avons utilisé la position de l'incisive supérieure comme point de référence. Toutes les positions sont donc calculées relativement à ce point. Par ailleurs nous avons fait l'hypothèse que la tête du locuteur n'est pas animée d'un mouvement de rotation ce qui évite d'avoir à prendre en compte un angle supplémentaire. Cette hypothèse est bien vérifiée dans la pratique.

L'axe des abscisses est l'axe horizontal, les abscisses croissant de droite à gauche et l'axe des ordonnées est l'axe vertical, les ordonnées croissant du bas vers le haut. Ce choix a été dicté par des considérations de mise en œuvre informatique. On mesure ainsi la position de l'os hyoïde donnée par le deuxième des trois points utilisés pour le représenter sur l'image, la position de l'incisive inférieure et celle du centre du larynx. On mesure aussi l'ouverture aux lèvres donnée par la différence des ordonnées du point le plus bas de la lèvre supérieure et du point le plus haut de la lèvre inférieure. La protrusion des lèvres est donnée par l'abscisse du point le plus en avant des lèvres inférieure et supérieure. Par ailleurs, l'angle de la mandibule est calculé par rapport au palais.

La constriction est donnée par le point de la langue dont la distance au palais (mesurée par projection orthogonale) est minimale. Cette distance donne l'ouverture de la constriction. Pour repérer la position de la constriction, nous utilisons le contour du palais et nous calculons la longueur du chemin entre l'incisive supérieure et le lieu de la constriction comme l'indique la Figure 32. Nous avons fait ce choix plutôt que d'utiliser les coordonnées cartésiennes du point de constriction parce que cela correspond mieux à la définition traditionnelle des lieux d'articulation donnés relativement à la paroi fixe du conduit vocal. Quand il y a contact entre la langue et le palais, c'est le point de la constriction le plus en avant dans le conduit vocal qui est choisi. Par ailleurs nous avons cherché une solution pour représenter la nature de la constriction, soit ponctuelle comme pour un /l/ par exemple, soit sous forme de canal comme pour un /ʃ/ par exemple. Pour cela nous avons considéré trois distances au palais plus grandes de 3, 5 ou 11 mm que la distance au palais mesurée à la constriction appelées respectivement d_1, d_2, et d_3. Pour chacune de ces valeurs de distance d_i nous avons calculé l'étendue de la région du palais autour de la constriction pour laquelle la distance à la langue est inférieure à d_i. Bien sûr par construction $d_1 < d_2 < d_3$. Si la constriction est ponctuelle (comme pour /l/) les trois valeurs sont assez proches l'une de l'autre. Au contraire pour une constriction en forme de canal (comme pour /ʃ/) d_2 est nettement plus grand que d_1, et d_3 plus grand que d_2. Ces valeurs d'étendue peuvent donc être utilisées pour caractériser la forme de la constriction.

Après avoir procédé au traitement des contours des articulateurs, et grâce au logiciel X-articulator, on obtient les valeurs des paramètres mesurées comme dans le fichier suivant, correspondant à une image :

Frame 4 F10046.grd

Hyoid position (wrt to upper incisor) in cm -4.61825 3.21958

Lower incisor (wrt to upper incisor) in cm -0.36946 -0.23751

Angle between mandible and palate (in degree) -15.3178

Larynx center (wrt to upper incisor) in cm -5.83147 6.01212

Lip aperture in cm 0.624071

Upper lip protrusion in cm (wrt to upper incisor) 1.2811

Lower lip protrusion in cm (wrt to upper incisor) 0.650751

Pharynx constriction in cm 1.85716

at (in cm wrt to upper incisor)-8.55036 0.44863

Constriction opening (cm) 0.31311

Distance from upper incisor (cm) 0.481834

Constriction < 0.51311 (cm) from 0.240816 cm to 1.67649(cm)

Constriction < 0.81311 (cm) from 0.240816 cm to 2.76019(cm)

Constriction < 1.11311 (cm) from 0.240816 cm to 6.49482(cm)

En ce qui concerne le phénomène de la gémination, nous avons retenu les paramètres articulatoires suivants :

- L'ouverture de la constriction
- La constriction pharyngale
- L'aperture labiale
- La position du larynx
- La position de l'os hyoïde

Pour ce qui concerne l'étendue de contact, nous renvoyons le lecteur au chapitre 11 pour les explications relatives à la mesure de ce paramètre articulatoire.

La radiocinématographie a contribué à une avancée considérable pour l'étude des gestes des articulateurs, et notamment ceux situés à l'intérieur du conduit vocal. Elle apporte une contribution décisive au développement de théories sur la production de la parole, et aux premiers essais de synthèse de type articulatoire. Les deux films (un par locuteur) que nous avons extraits de la base de données de l'Institut de Phonétique de Strasbourg pour la présente étude sont au format DICOM (25 Hz). Une postsynchronisation des images et du son est nécessaire avant de pouvoir exploiter les données. Les radiofilms fournissent une information dans le plan sagittal de la position et des déplacements d'un certain nombre d'articulateurs tels que les lèvres, la mâchoire, la langue, le voile du palais, le pharynx, l'os hyoïde et le larynx. Par rapport aux films de cette investigation, un logiciel *X-Articulator* nous a permis d'obtenir le contour des différents articulateurs de manière automatique ou semi-automatique. Pour notre étude sur la gémination, nous avons retenu les paramètres articulatoires suivants : a) l'ouverture de la constriction ; b) La constriction pharyngale ; c) l'aperture labiale ; d) la position du larynx ; e) la position de l'os hyoïde ; f) l'étendue de contact.

Ces considérations clôturent cette partie sur les procédures expérimentales. Il convient maintenant de passer à l'analyse de nos données, en commençant par celles relevant du domaine acoustique.

8 Etude des paramètres temporels : durées absolues

Dans cette partie, nous allons analyser quelques paramètres temporels des occlusives non voisées, des occlusives voisées, des constrictives non voisées et des constrictives voisées, dans trois positions de mot : initiale non absolue, intervocalique et finale non absolue. Les mesures de durées *absolues* ont été effectuées, d'une part au niveau intersegmental, à savoir la durée de la tenue consonantique et la durée des voyelles adjacentes et, d'autre part, au niveau intrasegmental, la durée du VTT, celle du silence acoustique et du VOT, pour les occlusives sourdes. En ce qui concerne les occlusives sonores, outre les durées intersegmentales de la tenue consonantique et des voyelles adjacentes, nous avons mesuré la durée de l'occlusion et celle du VOT (Klatt, 1975).

L'objectif de cette expérience est de voir si les paramètres temporels mentionnés ci-dessus jouent un rôle significatif, au niveau du timing, dans l'opposition phonologique entre les consonnes simples et les géminées du tarifit. Il s'agit aussi de tester la robustesse de ces paramètres dans le maintien éventuel de l'opposition phonologique, en variant la vitesse d'élocution.

Hypothèses

- *Hypothèse n° 1* : La gémination étant un fait phonologique temporel de quantité consonantique, il est tout-à-fait cohérent de s'attendre à des différences de durées consonantiques, plus longues pour les géminées que pour les simples.

- *Hypothèse n° 2* : Des faits phonologiques reposant habituellement sur des dimensions pluri-indicielles, nous pensons que la ou les voyelles adjacentes pourraient contribuer à renforcer le trait phonologique de la gémination.

- Le silence acoustique pour les sourdes (*Hypothèse n° 3*) et l'occlusion consonantique pour les sonores (*Hypothèse n° 4*), deux intervalles intrasegmentaux consonantiques, devraient sous-tendre l'opposition phonologique de la gémination, en tant qu'indices de renfort du trait potentiellement principal de la tenue consonantique.

- *Hypothèse n° 5* : Nous pensons, comme précisé auparavant, que l'opposition entre consonnes simples et géminées, qui pourrait reposer aussi sur des différences de pression intra-orale durant la tenue consonantique, et également sur des différences de changement de la pression d'air au relâchement, aurait une incidence sur la durée du VOT ; la durée du VOT des géminées devrait, en conséquence, être plus longue que celle des simples.

- *Hypothèse n° 6* : Il est probable que le VTT des simples soit plus long que celui des géminées, étant donné que plus la tenue consonantique est brève, plus la proportion du délai d'arrêt du voisement dans cette tenue risque d'être élevée.

- *Hypothèse n° 7* : Le signal de parole étant intrinsèquement élastique, tous les segments devraient subir une compression avec l'augmentation de la vitesse d'élocution, ce qui ne devrait pas empêcher les catégories oppositives de rester distinctes, afin de préserver l'opposition phonologique de la gémination.

Nos observations liminaires ont révélé que les résultats intra-locuteurs étaient sensiblement les mêmes pour nos six locuteurs. Nous avons, en conséquence, décidé de ne présenter *in* texte que les résultats tous locuteurs confondus. Cela dit, nous donnons, ci-dessous, quelques résultats représentatifs pour chaque locuteur (voir Figure 33 à Figure 38 et Tableau 10 à Tableau 15).

De manière générale, ces données montrent que chaque locuteur oppose les simples et les géminées grâce à la tenue consonantique sur le plan intersegmental, et le silence acoustique, ainsi que l'occlusion consonantique sur le plan intrasegmental, et cela dans les deux conditions de vitesse d'élocution. Des commentaires plus détaillés figurent plus loin dans l'analyse des résultats, tous locuteurs confondus.

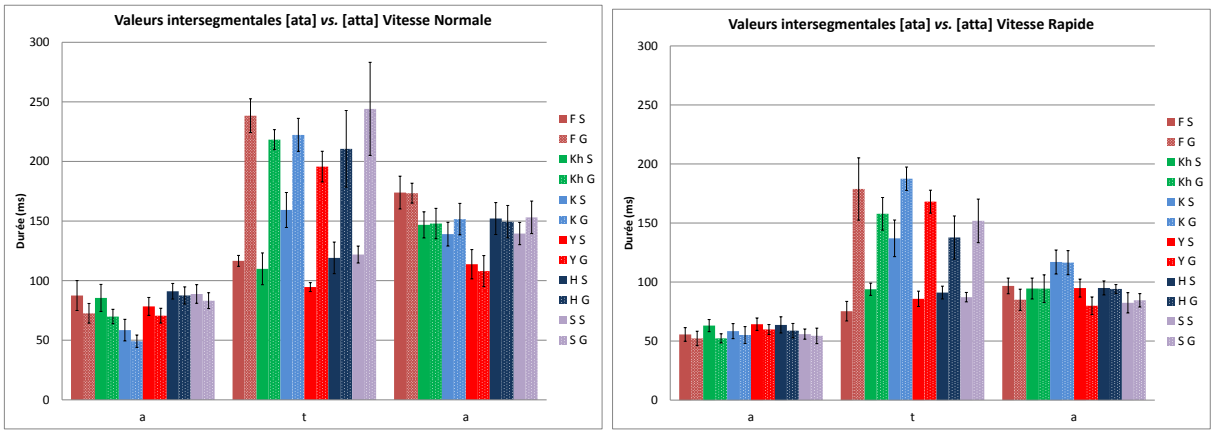


Figure 33 : Valeurs intersegmentales /ata/ *vs.* /atta/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S = simples et G = géminées).

Tableau 10 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ata/ et /atta/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		a		t		a		a		t		a	
[ata] vs. [atta]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	87,5	55,6	116,6	75,3	173,9	96,7	72,6	52,2	238,4	178,8	173,4	85
	Ecart-type	12,6	5,8	4,6	8,3	13,7	6,7	8,3	6,2	14,2	26,4	8,4	8,9
Kh	Moyenne	85,5	63,1	109,9	93,9	146,8	94,5	69,9	52,3	218,3	157,8	147,9	94,4
	Ecart-type	11,3	5,1	13,3	5,2	11,0	8,8	6,1	3,9	8,4	13,8	12,7	11,7
K	Moyenne	58,5	58,4	159,3	137	139	117	49,2	55,1	222,3	187,5	151,6	116,4
	Ecart-type	9,1	6,4	14,7	15,5	10,0	10,2	5,2	7,2	13,8	9,9	13,2	10,2
Y	Moyenne	78,4	64,3	94,6	85,8	113,8	94,9	70,6	59,8	195,7	168,1	108	79,9
	Ecart-type	7,5	5,3	3,7	6,5	12,3	7,6	6,2	4,2	12,9	9,7	13,0	7,5
H	Moyenne	91,1	63,7	119,1	91,1	152,1	95	87,6	58,8	210,6	137,7	149,5	94,1
	Ecart-type	6,5	6,9	13,3	5,4	13,4	5,9	7,2	6,2	32,1	18,3	13,6	3,8
S	Moyenne	88,8	55,9	121,9	87,2	139,5	82,4	83,2	54,4	244,1	151,8	153,1	84,5
	Ecart-type	7,8	4,3	7,1	4,0	9,3	8,6	6,7	6,6	39,1	18,5	13,6	5,7

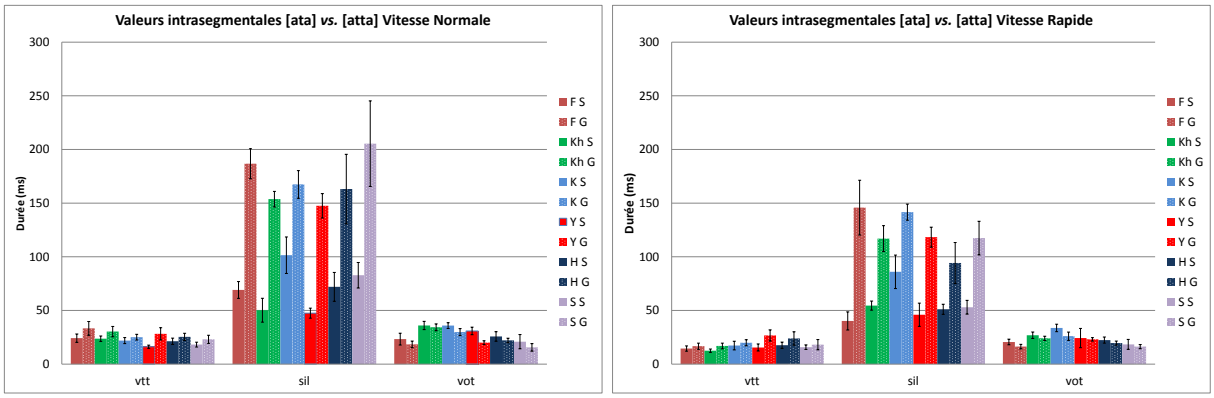


Figure 34 : Valeurs intrasegmentales /ata/ *vs.* /atta/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S = simples et G = géminées).

Tableau 11 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ata/ *vs.* /atta/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		vtt		sil		vot		vtt		sil		vot	
[ata] vs. [atta]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	24,2	14,5	69,1	40,2	23,3	20,6	33,30	16,7	186,70	145,8	18,40	16,3
	Ecart-type	3,9	2,5	7,8	8,4	5,5	2,6	6,41	2,9	13,97	25,6	3,06	2,2
Kh	Moyenne	23,7	12,5	50,2	54,5	36	26,9	30,3	16,9	153,7	116,9	34,3	24
	Ecart-type	2,5	1,6	11,1	4,2	3,9	3,0	4,8	2,6	7,3	12,1	3,2	2,0
K	Moyenne	21,9	17,3	101,5	86	35,9	33,7	25,1	19,9	167,4	141,6	29,8	26
	Ecart-type	2,8	4,1	17,0	15,6	2,7	3,5	2,7	2,8	12,9	7,5	3,3	3,9
Y	Moyenne	16,2	15,5	47,5	46	30,9	24,3	28,2	26,7	147,5	118,3	20	23,1
	Ecart-type	1,5	3,3	4,7	10,8	3,5	8,9	5,7	5,2	11,4	9,3	1,8	1,6
H	Moyenne	21,3	17,6	72	51,1	25,8	22,4	25,4	23,9	163,1	94,2	22,1	19,6
	Ecart-type	2,9	3,0	13,4	4,7	4,4	2,9	3,3	6,3	32,4	19,1	2,1	1,9
S	Moyenne	18,2	15,8	82,8	53	20,9	18,4	23,1	18,1	205,4	117,4	15,6	16,3
	Ecart-type	2,3	2,1	11,9	6,4	6,6	4,6	3,8	4,8	39,9	15,7	3,5	1,9

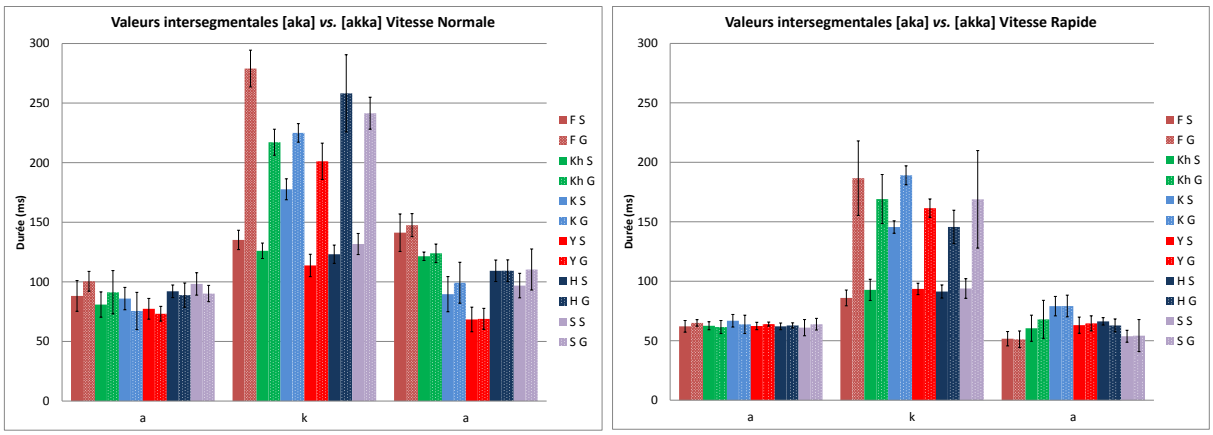


Figure 35 : Valeurs intersegmentales /aka/ *vs.* /akka/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S = simples et G = géminées).

Tableau 12 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aka/ et /akka/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		a		k		a		a		k		a	
[aka] vs. [akka]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	88,2	62,1	135,2	86	141,3	51,7	100,5	65	279	186,7	147,6	51,2
	Ecart-type	12,9	4,9	8,1	6,6	15,7	6,1	8,3	2,7	15,4	31,3	9,7	7,0
Kh	Moyenne	81	62,6	126,1	92,8	121,5	60,5	91,3	61,6	217,2	169,1	124	68
	Ecart-type	10,6	3,4	6,5	8,9	3,6	11,0	18,2	5,5	10,9	20,6	7,8	16,0
K	Moyenne	86	66,8	177,7	145,6	89,7	79,1	75,6	63,8	225	189,1	99,3	79,2
	Ecart-type	9,4	5,3	8,8	5,2	14,8	8,2	15,6	7,7	7,8	8,0	17,2	9,1
Y	Moyenne	77,4	62,4	113,8	93,6	68,5	63,1	73,3	64	201,2	161,5	69	64,6
	Ecart-type	8,7	3,1	9,4	4,8	10,3	6,8	6,2	1,7	15,2	7,7	8,8	6,3
H	Moyenne	92,1	62,1	123,2	91,4	109,3	66,3	88,9	62,9	258,2	145,7	109,4	62,9
	Ecart-type	5,3	2,8	7,7	5,5	9,0	3,1	10,2	2,1	32,4	14,0	9,1	5,4
S	Moyenne	98,3	61	131,8	93,9	96,9	53,8	90,2	63,9	241,5	168,9	110,4	54,3
	Ecart-type	9,4	6,8	8,9	8,3	10,3	5,0	6,8	4,9	13,4	41,0	17,2	13,5

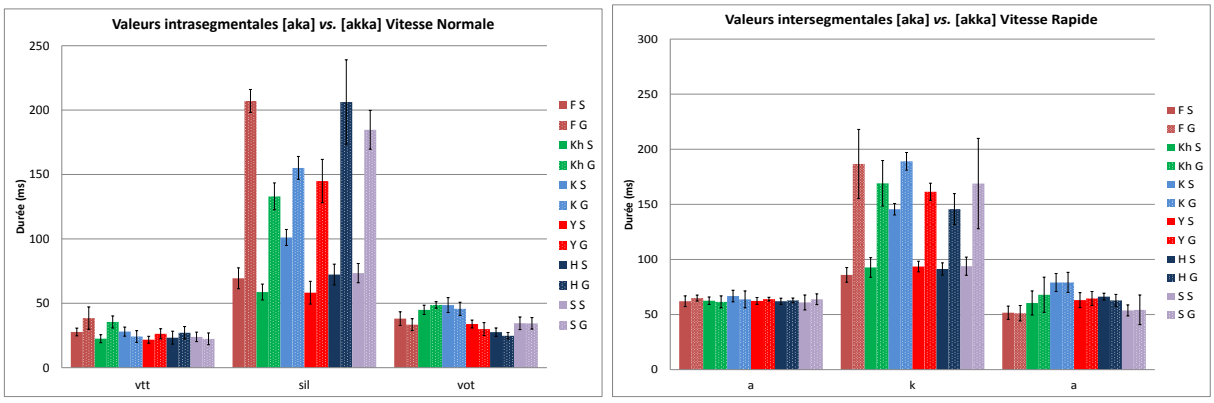


Figure 36 : Valeurs intrasegmentales /aka/ *vs.* /akka/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S = simples et G = géminées).

Tableau 13 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aka/ *vs.* /akka/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		vtt		sil		vot		vtt		sil		vot	
[aka] vs. [akka]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	27,7	17,1	69,4	44,8	38,1	24,1	38,5	19	207,1	146,6	33,4	21,1
	Ecart-type	3,0	2,1	8,1	8,3	5,3	3,4	8,7	5,9	8,9	26,0	4,6	2,4
Kh	Moyenne	22,5	16,4	58,7	42,3	44,9	34,1	35,5	18,6	133	116,8	48,7	33,8
	Ecart-type	3,1	2,1	6,2	7,1	3,6	4,7	4,7	3,9	10,5	17,6	2,5	3,0
K	Moyenne	28	22,2	101,1	84,6	48,6	38,8	24,2	18,8	155,1	133,9	45,7	36,4
	Ecart-type	3,5	2,8	6,2	3,6	5,8	4,6	4,6	2,7	8,9	7,4	5,1	2,7
Y	Moyenne	21,7	19,8	58,2	44,2	33,9	29,6	26,3	26,9	144,9	107,6	30	27
	Ecart-type	2,7	4,2	8,8	7,5	3,1	5,6	4,0	4,4	16,8	6,9	5,0	3,2
H	Moyenne	23,3	19,2	72,3	51,2	27,6	21	27,1	23,6	206,3	101,5	24,8	20,6
	Ecart-type	5,0	1,9	8,1	5,9	3,3	2,5	4,8	3,0	32,8	12,7	2,5	2,7
S	Moyenne	23,9	15,7	73,4	47,4	34,5	30,8	22,4	20,1	184,7	120,4	34,4	28,4
	Ecart-type	3,7	2,9	7,5	7,9	4,9	3,5	4,6	3,4	15,1	41,2	4,5	3,1

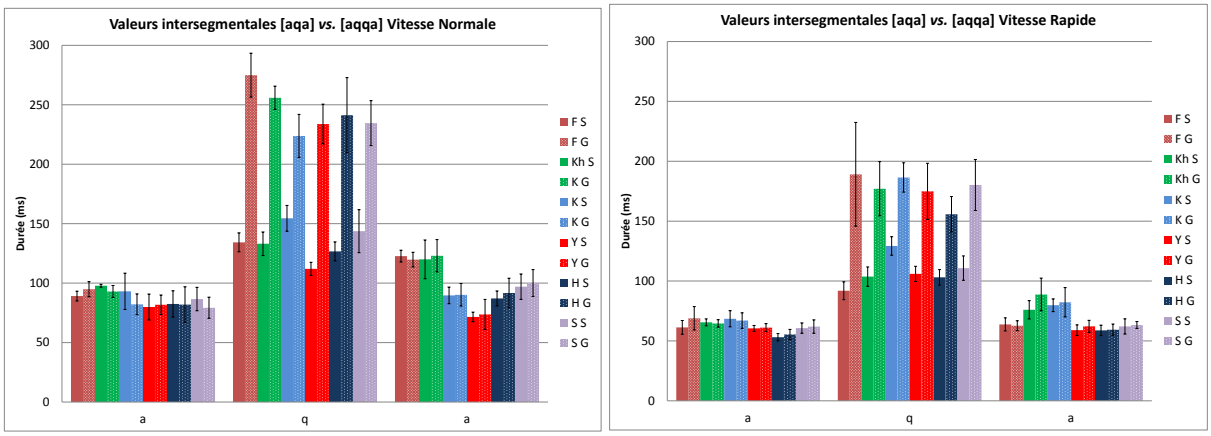


Figure 37 : Valeurs intersegmentales /aqa/ *vs.* /aqqa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S = simples et G = géminées).

Tableau 14 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aqa/ et /aqqa/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		a		q		a		a		q		a	
[aqa] vs. [aqqa]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	89,1	61,3	134,3	91,9	122,7	63,8	94,9	68,9	274,9	189,1	119,8	62,7
	Ecart-type	4,1	5,7	8,0	7,5	5,0	5,5	6,3	9,8	18,4	43,3	6,2	4,2
Kh	Moyenne	97,8	65,5	133,1	103,7	120	76	93	64,6	255,9	177,1	123	88,8
	Ecart-type	1,2	2,9	9,9	8,1	16,3	7,6	5,0	3,1	9,8	22,6	13,6	13,7
K	Moyenne	93,1	68,5	154,5	129,3	89,7	79,8	82,2	67	223,8	186,5	90,2	82,3
	Ecart-type	15,3	6,8	10,9	7,7	7,0	5,3	8,8	6,5	18,1	12,2	9,5	12,2
Y	Moyenne	79,9	60,5	112	106	71,6	59	81,8	61,1	233,8	174,9	73,7	62,2
	Ecart-type	10,9	2,4	5,5	6,3	4,0	4,4	8,2	3,3	16,7	23,4	12,6	5,0
H	Moyenne	82,5	53,1	126,7	103,1	87,1	58,8	82	55,4	241,3	155,8	91,7	59,4
	Ecart-type	11,0	3,1	7,9	6,5	6,3	4,3	15,0	4,2	31,5	14,8	12,4	4,7
S	Moyenne	86,6	60,7	143,7	110,8	97	62,1	79,3	62	234,6	180,2	100,1	63,3
	Ecart-type	9,9	4,3	18,1	10,2	10,7	6,4	8,9	5,6	18,9	21,3	11,3	2,9

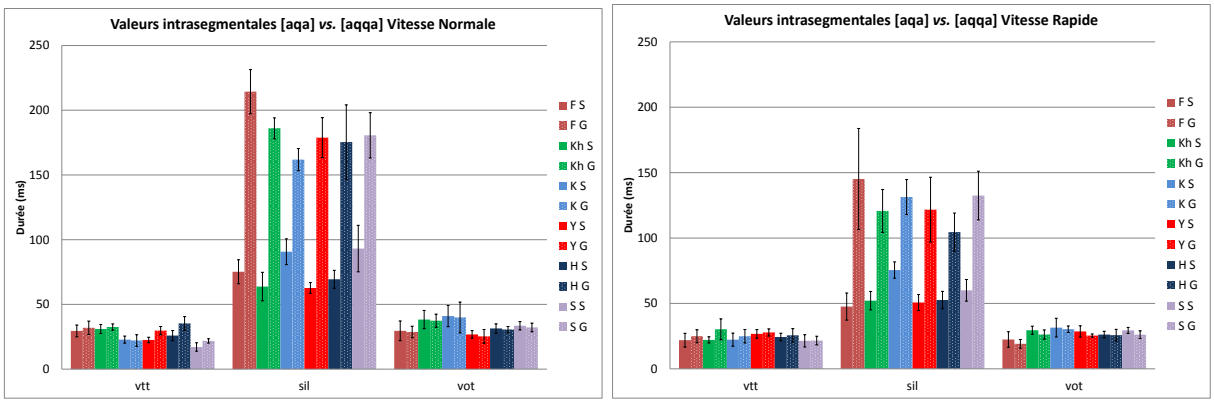


Figure 38 : Valeurs intrasegmentales /aqa/ *vs.* /aqqa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S = simples et G = géminées).

Tableau 15 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aqa/ *vs.* /aqqa/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		vtt		sil		vot		vtt		sil		vot	
[aqa] vs. [aqqa]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	29,5	21,9	75,2	47,6	29,6	22,4	31,9	24,9	214,3	145,1	28,7	19,1
	Ecart-type	4,6	5,3	9,3	10,4	7,6	5,9	5,2	5,0	17,1	38,7	4,4	3,3
Kh	Moyenne	31	22,1	63,8	52,1	38,3	29,5	32,5	30,2	186	120,7	37,4	26,2
	Ecart-type	3,5	2,4	11,0	7,0	7,1	3,1	2,4	8,0	8,1	16,4	5,1	3,6
K	Moyenne	22,8	22,3	90,7	75,5	41	31,5	22,1	24,9	161,8	131,3	39,9	30,3
	Ecart-type	2,7	5,0	10,0	6,2	8,2	7,2	4,5	5,2	8,5	13,4	11,9	2,5
Y	Moyenne	22,5	26,7	62,7	50,7	26,8	28,6	29,7	27,8	178,8	121,7	25,3	25,4
	Ecart-type	2,1	3,3	4,2	6,1	2,9	4,3	3,2	2,8	15,5	24,8	5,3	1,3
H	Moyenne	25,9	24,3	69,4	52,6	31,4	26,2	35,3	25,6	175,4	104,5	30,6	25,7
	Ecart-type	3,9	2,9	6,9	6,6	3,6	2,5	5,3	5,1	28,7	14,6	2,3	4,5
S	Moyenne	17,1	21,4	93,1	60	33,5	29,4	21,8	21,6	180,6	132,5	32,2	26,1
	Ecart-type	3,2	4,7	18,0	8,3	3,2	2,3	1,7	3,3	17,5	18,6	3,4	3,0

Rappelons que les données complètes pour chaque locuteur figurent en Annexe 1. Rappelons également que nos analyses statistiques reposent sur des T-test paire-par-paire effectués entre les simples et les géminées pour chaque vitesse délocution, ainsi que sur les paires simples et sur les paires géminées à différentes vitesse d'élocution. Pour les T-test, nous donnons les données de variance avec les facteurs *f* et *df* et la significativité de leur différence des facteurs comparés avec la valeur de *p*. Nous avons également effectué des analyses de variance (ANOVA) à deux facteurs pour déterminer l'interaction entre la gémination et la vitesse d'élocution pour les paires analysées. Pour ces analyses ANOVA, nous donnons les données de variance avec le ratio F et la valeur de probabilité *p*. Seuls les résultats avec une probabilité de moins de cinq pour cent ($p<0.05$) sont considérés ici comme significatifs.

8.1 Les occlusives sourdes

8.1.1 Les occlusives sourdes en position intervocalique

Les paires d'occlusives sourdes analysées sont : **/ata/ *vs.* /atta/**
/aka/ *vs.* /akka/
/aqa/ *vs.* /aqqa/

- ***Durées intersegmentales : tenues consonantiques et durées vocaliques***

En vitesse d'élocution normale, les résultats (Figure 39, à gauche) montrent que le paramètre physique de prédilection de la gémination est la durée de la tenue consonantique, car elle est significativement différente entre les simples et les géminées [t= 11,13, df= 5, p=0,0001 pour la paire /t /*vs.* /tt/ ; t= 7,109, df= 5, p=0,0009 pour /k/ *vs.* /kk/, et t= 10,54, df= 5, p=0,0001 pour /q/ *vs.* /qq/]. En effet, la tenue consonantique de la classe des géminées est systématiquement et remarquablement plus longue par rapport à leur homologues simples. En revanche, les autres paramètres intersegmentaux, V1 et V2, ne permettent pas de différencier les deux classes.

En vitesse d'élocution rapide, tous les paramètres intersegmentaux (Figure 39, à droite) sont comprimés de manière significative [pour les simples t= 5,143, df= 5, p=0,0036 pour t VN *vs.* t VR ; t= 8,899, df= 5, p=0,0003 pour k VN *vs.* k VR, et t= 5,393, df= 5, p=0,0030 pour q VN *vs.* q VR et pour les géminées t= 5,929, df= 5, p=0,0019 pour tt VN *vs.* tt VR ; t= 7,854, df= 5, p<0,0001 pour kk VN *vs.* kk VR, et t= 7,854, df= 5, p<0,0001 pour qq VN *vs.* qq VR]. Malgré cette compression de durée, le scénario reste le même qu'en vitesse d'élocution normale. La différence entre simples et géminées se fait grâce à une différence significative de la durée de la tenue consonantique, celle des géminées étant plus longue que celle des simples [t= 7,854, df= 5, p=0,0005 pour t *vs.* tt ; t= 5,257, df= 5, p=0,0033 pour k *vs.* kk, t= 8,295, df= 5, p=0,0004 pour q *vs.* qq], quoique ces différences diminuent face à l'augmentation de la vitesse d'élocution.

Nous n'observons pas d'interaction entre la gémination et la vitesse d'élocution pour les paires /t / *vs.* /tt/ et /k/ *vs.* /kk/ [pour la paire /t/ *vs.* /tt/ : F(1,20) = 4,069, p=0,0573; pour la paire /k/ *vs.* /kk/ : F(1,20) = 3,082, p=0,0945]. En revanche, nous observons une interaction significative entre la gémination et la vitesse d'élocution pour la paire /q/ *vs.* /qq/ [F(1,20) = 11,47, p=0,0029]. Afin de vérifier la robustesse du contraste linguistique de la durée de la tenue consonantique entre les deux groupes de données temporelles, il est également intéressant de tester la différence de la durée de la tenue consonantique entre les géminées en

vitesse d'élocution rapide et les simples en vitesse d'élocution normale. Les résultats montrent que la différence de tenue consonantique est significative dans cette configuration pour les trois paires [pour la paire /t /*vs.* /tt/ : t= 4,904, df= 5, p=0,0045; pour la paire /k/ *vs.* /kk/ : t= 5,544, df= 5, p=0,0026 ; pour la paire /q/ *vs.* /qq/ : t= 7,797, df= 5, p=0,0006] et notamment pour la paire /q/ *vs.* /qq/. Pour les paires /t /*vs.* /tt/ et /k/ *vs.* /kk/, les résultats montrent que la tenue consonantique est la bonne variable acoustique pour distinguer les simples des géminées quelle que soit la vitesse d'élocution. Lorsqu'une interaction entre la gémination et la vitesse d'élocution est obtenue, cela indique une assimilation entre consonne simple et consonne géminée, ce qui signifie que la différence moyenne entre simple et géminée en vitesse d'élocution normale serait plus grande que la différence moyenne entre simple et géminée en vitesse d'élocution rapide, ce qui est testé avec le T-test entre les simple en vitesse d'élocution normale et les géminées en vitesse d'élocution rapide. Pour la paire /q/ *vs.* /qq/, les résultats suggèrent que, malgrè l'interaction significative entre gémination et vitesse d'élocution pour cette paire, la différence significative entre simple en vitesse normale et géminée en vitesse rapide confirme que pour cette paire aussi, la tenue consonantique est la bonne variable acoustique pour distinguer simple et géminée quelle que soit la vitesse d'élocution.

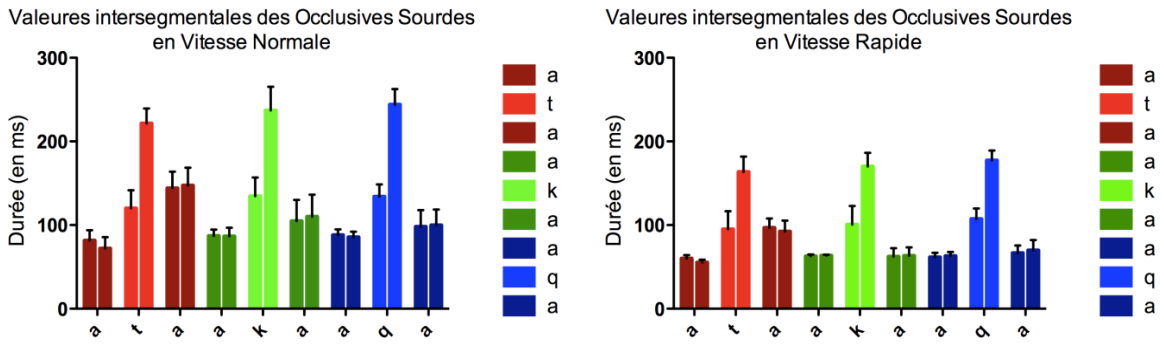


Figure 39 : Valeurs intersegmentales des occlusives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite.

Le Tableau 16 donne les valeurs des moyennes et des écarts types des six locuteurs pour les paramètres intersegmentaux des trois paires d'occlusives sourdes en vitesse d'élocution normale (à gauche) et en vitesse d'élocution rapide (à droite). Notons que les écarts-types restent relativement faibles, révélant ainsi une bonne maîtrise des paramètres temporels, quelle que soit la condition de vitesse d'élocution.

Tableau 16 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales des occlusives sourdes en (ms).

		Simple			Géminée		
		a	simple	a	a	géminée	a
ata vs atta VN	Moyenne	81,63	120,23	144,18	72,18	221,57	147,25
	Ecart Type	12,13	21,48	19,62	13,38	17,84	21,37
ata vs atta VR	Moyenne	60,17	95,05	96,75	55,43	163,62	92,38
	Ecart Type	4,01	21,51	11,20	3,22	18,25	13,09
aka vs akka VN	Moyenne	87,17	134,63	104,53	86,63	237,02	109,95
	Ecart Type	7,54	22,36	25,45	10,31	28,47	26,10
aka vs akka VR	Moyenne	62,83	100,55	62,42	63,53	170,17	63,37
	Ecart Type	2,02	22,26	9,87	1,17	16,18	10,04
aqa vs aqqa VN	Moyenne	88,17	134,05	98,02	85,53	244,05	99,75
	Ecart Type	6,65	14,51	19,90	6,63	18,46	18,85
aqa vs aqqa VR	Moyenne	61,60	107,47	66,58	63,17	177,27	69,78
	Ecart Type	5,24	12,37	9,05	4,81	11,83	12,46

- ***Durées intrasegmentales : VTT, silence acoustique, VOT***

En se focalisant sur les paramètres constitutifs de la tenue consonantique, à savoir les durées intrasegmentales comme le VTT, le silence acoustique et le VOT (Figure 40, à gauche), nous observons, en vitesse d'élocution normale, que le silence acoustique permet de différencier les occlusives simples des occlusives géminées. La durée du silence acoustique des géminées est significativement supérieure à celle de leurs homologues simples [pour la paire /t /*vs.* /tt/ : t= 12,03, df= 5, p<0,0001; pour la paire /k/ *vs.* /kk/ : t= 7,289, df= 5, p=0,0008 et pour la paire /q/ *vs.* /qq/ : t= 10,64, df= 5, p=0,0001]. En ce qui concerne les deux autres paramètres, le VTT ne permet pas de dégager un comportement cohérent, et le VOT a tendance à être plus long pour les géminées que celui mesuré pour les simples (p=*ns*).

Lorsque l'on augmente la vitesse d'élocution, tous les paramètres intrasegmentaux (Figure 40, à droite) subissent une compression significative du silence acoustique [pour les simples : t= 2,689, df= 5, p=0,0434 pour /t/ VN *vs.* /t/VR ; t= 9,768, df= 5, p=0,0002 pour /k/ VN *vs.* /k/ VR et t= 5,266, df= 5, p=0,0033 pour /q/ VN *vs.* /q/ VR et pour les géminées : t= 4,786, df= 5, p=0,0049 pour /tt/ VN *vs.* /tt/ VR ; t= 3,787, df= 5, p=0,0128 pour /kk/ VN *vs.* /kk/ VR, et t= 8,983, df= 5, p=0,0003 pour /qq/ VN *vs.* /qq/ VR]. Néanmoins, la durée du silence acoustique reste toujours pertinente pour la distinction entre les simples et les géminées [pour la paire /t /*vs.* /tt/ : t= 7,744, df= 5, p=0,0006; pour la paire /k/ *vs.* /kk/ : t= 8,626, df= 5, p=0,0003 et pour la paire /q/ *vs.* /qq/ : t= 10,59, df= 5, p=0,0001].

Comme nous l'avons observé pour la tenue consonantique, il n'y a pas d'interaction de la durée du silence acoustique entre la gémination et la vitesse d'élocution pour les paires /t / *vs.* /tt/ et /k/ *vs.* /kk/ [pour la paire /t/ *vs.* /tt/ : F(1,20) = 4,301, p=0,0512; pour la paire /k/ *vs.*

/kk/ : F(1,20) = 3,225, p=0,0877]. En revanche, nous notons une interaction significative entre la gémination et la vitesse d'élocution pour la paire /q/ *vs.* /qq/ [F(1,20) = 10,84, p=0,0036]. Là aussi, nous avons testé la différence de la durée du silence acoustique entre les géminées en vitesse d'élocution rapide et les simples en vitesse d'élocution normale et obtenons une difference significative dans cette configuration pour les trois paires [pour la paire /t /*vs.* /tt/ : t= 5,660, df= 5, p=0,0024; pour la paire /k/ *vs.* /kk/ : t= 6,819, df= 5, p=0,0010 ; pour la paire /q/ *vs.* /qq/ : t= 8,904, df= 5, p=0,0003]. Même si on observe une interaction entre vitesse d'élocution et gémination pour la paire /q/ *vs.* /qq/, les résultats confirment que la durée du silence acoustique demeure la bonne variable acoustique pour distinguer les simples des géminées même en faisant varier la vitesse d'élocution.

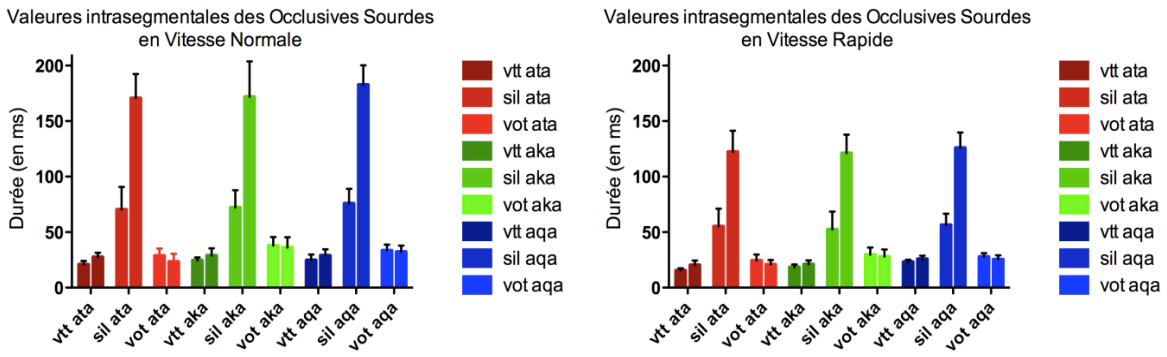


Figure 40 : Valeurs intrasegmentales des occlusives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite.

Le Tableau 17 indique les valeurs des moyennes et des écarts-types des six locuteurs pour les paramètres intrasegmentaux des trois paires d'occlusives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide. Au regard des écarts-types, la viabilité est faible pour tous les paramètres.

Tableau 17 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales des occlusives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms).

		Simple			Géminée		
		vtt	sil	vot	vtt	sil	vot
/ata/ vs /atta/ VN	Moyenne	20,92	70,52	28,80	27,57	170,63	23,37
	Ecart type	3,14	20,29	6,45	3,78	21,71	7,20
/ata/ vs /atta/ VR	Moyenne	15,53	55,13	24,38	20,37	122,37	20,88
	Ecart type	1,88	16,00	5,43	4,08	18,89	4,11
/aka/ vs /akka/ VN	Moyenne	24,52	72,18	37,93	29,00	171,85	36,17
	Ecart type	2,69	15,64	7,71	6,48	31,97	9,23
/aka/ vs /akka/ VR	Moyenne	18,40	52,42	29,73	21,16	121,13	27,88
	Ecart type	2,45	16,06	6,49	3,38	16,73	6,44
/aqa/ vs /aqqa/ VN	Moyenne	24,80	75,82	33,43	28,88	182,82	32,35
	Ecart type	5,11	13,25	5,36	5,66	17,43	5,45
/aqa/ vs /aqqa/ VR	Moyenne	23,12	56,42	27,93	25,83	125,97	25,47
	Ecart type	2,02	10,20	3,21	2,92	13,74	3,60

D'après nos résultats, nous constatons que :

1) La différence entre simples et géminées se fait, au niveau intersegmental, grâce à une différence significative de la tenue consonantique, celle des géminées étant plus longue que celle des simples, dans les deux conditions de vitesse d'élocution. Le ratio de F nous indique que la différence la plus importante se situe entre la tenue consonantique des consonnes géminées *vs*. simples (très significative), alors que la différence entre vitesses d'élocution normale *vs*. rapide est un peu moins importante, mais toujours très significative.

2) Nous observons la même situation que celle décrite ci-dessus pour le silence acoustique, c'est-à-dire : (1) le silence acoustique permet de distinguer les occlusives simples des géminées pour les deux vitesses d'élocution et (2) le ratio F indique que la différence la plus importante se fait entre le silence acoustique des consonnes géminées par rapport à celui des simples (très significative), même si cette différence se réduit en vitesse d'élocution rapide, elle reste tout de même significative. Signalons enfin, que le silence acoustique est un paramètre plus performant que la tenue consonantique dans la distinction des géminées des simples.

3) La tâche d'augmentation de la vitesse d'élocution, requise auprès des locuteurs, a été correctement exécutée, puisque tous les segments ont été comprimés avec l'augmentation de la vitesse d'élocution.

4) Il n'existe pas d'interaction entre la gémination et la vitesse d'élocution pour les 2 paires /t/ *vs.* /tt/, /k/ *vs.* /kk/, mais il y a une interaction pour la paire /q/ *vs.* /qq/ sur la durée de la tenue consonantique et plus précisément sur la durée du silence acoustique. Malgré cette interaction, l'analyse de la différence de la durée de la tenue consonantique pour les durées intersegmentales ou du silence acoustique pour les durées intrasegmentales entre les géminées en vitesse d'élocution rapide et les simples en vitesse d'élocution normale montre une différence significative de ces deux paramètres pour les trois paires. Ceci confirme la robustesse de ces deux paramètres pour distinguer les simples des géminées même en faisant varier la vitesse d'élocution.

Il serait intéressant maintenant d'examiner l'opposition phonologique de ces consonnes en position initiale, afin de vérifier si celle-ci est maintenue dans cette position aussi.

8.1.2 Les occlusives sourdes en position initiale

Nous analyserons dans cette section les paires d'occlusives sourdes: **/ta/ *vs.* /tta/**
/ka/ *vs.* /kka/
/qa/ *vs.* /qqa/

- ***Durées intersegmentales : tenues consonantiques et durées vocaliques***

En position initiale des occlusives sourdes en vitesse d'élocution normale (Figure 41, à gauche), le paramètre physique préférentiel de la gémination reste la tenue consonantique qui est significativement plus longue pour la classe des géminées par rapport à leur homologues simples [t= 12,99, df= 5, p<0,0001 pour la paire /t /*vs.* /tt/ ; t= 14,03, df= 5, p<0,0001 pour /k/ *vs.* /kk/, et t= 11,70, df= 5, p<0,0001 pour /q/ *vs.* /qq/]. En revanche, l'autre paramètre intersegmental, la durée de la voyelle suivante, ne permet toujours pas de différencier les deux classes.

En vitesse d'élocution rapide (Figure 41, à droite), tous les paramètres intersegmentaux sont comprimés de manière significative [pour les simples : [t= 6,058, df= 5, p=0,0018 pour t VN *vs.* t VR ; t= 4,431, df= 5, p=0,0068 pour k VN *vs.* k VR /, et t= 6,213, df= 5, p=0,0016 pour q VN *vs.* q VR et pour les géminées [t= 6,464, df= 5, p=0,0013 pour tt VN *vs.* tt VR; t= 6,014, df= 5, p=0,0018 pour kk VN *vs.*kk VR, et t= 7,714, df= 5, p=0,0053 pour qq VN *vs.* qq VR]. Cependant, la tenue consonantique des géminées reste significativement plus longue que celle des simples [t= 13,34, df= 5, p<0,0001 pour la paire /t /*vs.* /tt/ ; t= 10,56, df= 5, p=0,0001 pour /k/ *vs.* /kk/, et t= 4,893, df= 5, p=0,0045 pour /q/ *vs.* /qq/].

Il n'existe pas d'interaction entre la gémination et la vitesse d'élocution pour les trois occlusives sourdes en position initiale non absolue [pour la paire /t/ *vs.* /tt/ : F(1,20) = 1,348, p=0,2593; pour la paire /k/ *vs.* /kk/ : F(1,20) = 3,248, p=0,0866 et pour la paire /q/ *vs.* /qq/ : F(1,20) = 0,4100, p=0,5293]. A titre indicatif, nous avons également testé la difference de la tenue consonantique entre simple en vitesse normale et géminée en vitesse rapide. La différence est significative pour les deux paires /t/ *vs.* /tt/ et /q/ *vs.* /qq/ [pour la paire /t /*vs.* /tt/ : t= 5,130, df= 5, p=0,0037; pour la paire /k/ *vs.* /kk/ : t= 3,073, df= 5, p=0,0277] et se trouve juste à la limite de significativité pour la paire /q/ *vs.* /qq/ [t= 2,560, df= 5, p=0,0507]. Si l'on considère à la fois les résultats des interactions et ceux du T-test, la tenue consonantique reste la bonne variable acoustique pour distinguer les simples des géminées quelle que soit la vitesse d'élocution.

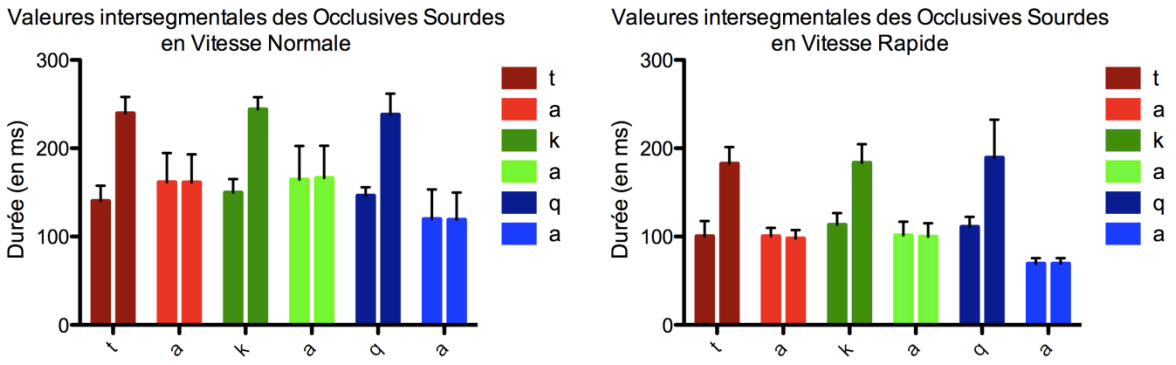


Figure 41 : Valeurs intersegmentales des occlusives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite.

Le Tableau 18 donne les valeurs des moyennes et des écarts-types des six locuteurs pour les paramètres intersegmentaux des trois paires d'occlusives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide. Notons que les écarts-types restent relativement faibles, révélant ici aussi une bonne maîtrise des paramètres temporels, quelle que soit la condition de vitesse d'élocution.

Tableau 18 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales des occlusives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms).

		Simple		Géminée	
		simple	a	géminée	a
/ta/ vs /tta/ VN	Moyenne	140,40	161,72	239,58	161,32
	Ecart type	17,33	32,94	18,62	31,91
/ta/ vs /tta/ VR	Moyenne	100,37	100,42	182,63	97,82
	Ecart type	17,14	9,34	18,84	9,54
/ka/ vs /kka/ VN	Moyenne	149,95	164,70	244,02	166,27
	Ecart type	15,27	37,82	13,84	36,56
/Ka/ vs /kka/ VR	Moyenne	113,33	101,28	183,73	99,87
	Ecart type	13,36	15,54	20,77	15,22
/qa/ vs /qqa/ VN	Moyenne	146,48	119,90	238,02	119,10
	Ecart type	9,41	33,43	23,75	30,80
/qa/ vs /qqa/ VR	Moyenne	111,20	69,48	189,33	69,48
	Ecart type	11,18	6,06	43,01	6,11

- ***Durées intrasegmentales : VTT, silence acoustique, VOT***

En vitesse d'élocution normale, seul le silence acoustique permet encore, dans cette position initiale non absolue, de différencier les simples des géminées parmi les paramètres composites de la tenue consonantique (les durées intrasegmentales VTT, le silence acoustique et le VOT) (Figure 42, à gauche). La durée du silence acoustique des géminées est significativement supérieure à celle de leurs homologues simples [t= 13,94, df= 5, p<0,0001 pour la paire /t /*vs.* /tt/ ; t= 13,42, df= 5, p<0,0001 pour /k/ *vs.* /kk/, et t= 10,84, df= 5,

p=0,0001 pour /q/ *vs.* /qq/]. Pour les autres paramètres, le VTT ne donne toujours pas de résultats concluants, et le VOT garde cette tendance à être plus long pour les géminées (p=*ns*).

En vitesse d'élocution rapide (Figure 42, à droite), le silence acoustique subit une compression significative [pour les simples : t= 5,528, df= 5, p=0,0027 pour t VN *vs.* t VR; t= 4,016, df= 5, p=0,0102 pour k VN *vs.* k VR, et t= 5,819, df= 5, p=0,0021 pour q VN *vs.* q VR] et pour les géminées : t= 5,622, df= 5, p=0,0025 pour tt VN *vs.* tt VR ; t= 6,215, df= 5, p=0,0016 pour kk VN *vs.* kk VR, et t= 3,475, df= 5, p=0,0178 pour qq VN *vs.* qq VR]. Néanmoins, la durée du silence acoustique est toujours un paramètre robuste pour permettre la distinction entre les simples et les géminées [t= 13,09, df= 5, p<0,0001 pour la paire /t /*vs.* /tt/ ; t= 9,997, df= 5, p=0,0002 pour /k/ *vs.* /kk/, et t= 4,846, df= 5, p<0,0047 pour /q/ *vs.* /qq/].

Il n'y a pas d'interaction de la durée du silence acoustique entre la gémination et la vitesse d'élocution pour les occlusives sourdes en position initiale non absolue [pour la paire /t/ *vs.* /tt/ : F(1,20) = 1,547, p=0,2279; pour la paire /k/ *vs.* /kk/ : F(1,20) = 3,198, p=0,0889 et pour la paire /q/ *vs.* /qq, [F(1,20) = 0,3862, p=0,5413]. De plus la différence de la durée du silence acoustique entre les simples en vitesse d'élocution normale et les géminées en vitesse rapide est significative pour les trois paires [pour la paire /t /*vs.* /tt/ : t= 6,480, df= 5, p=0,0013; pour la paire /k/ *vs.* /kk/ : t= 4,476, df= 5, p=0,0065 ; pour la paire /q/ *vs.* /qq/ : t= 3,517, df= 5, p=0,0170]. La durée du silence acoustique demeure la bonne variable acoustique pour distinguer les simples des géminées quelle que soit la vitesse d'élocution.

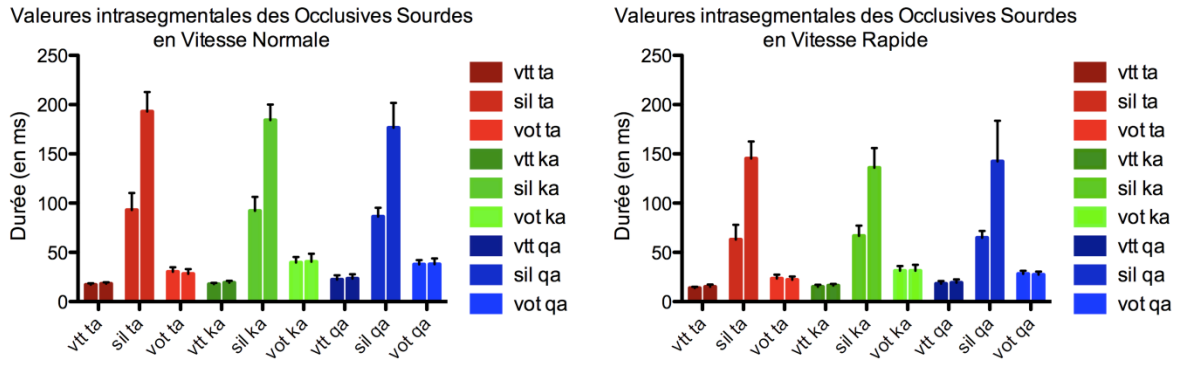


Figure 42 : Valeurs intrasegmentales des occlusives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite.

Le Tableau 19 indique les valeurs des moyennes et des écarts-types pour les paramètres intrasegmentaux des six locuteurs. Là encore, les écarts-types du silence acoustique sont faibles reflétant la faible variabilité de ce paramètre par rapport à celle du VTT et du VOT.

Tableau 19 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales des occlusives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms).

		Simple			Géminée		
		vtt	sil	vot	vtt	sil	vot
/ta/ vs /tta/ VN	Moyenne	17,17	92,98	30,25	18,30	193,02	28,27
	Ecart type	1,49	17,43	4,68	1,34	19,71	4,84
/ta/ vs /tta/ VR	Moyenne	13,85	62,98	23,53	15,15	145,28	22,20
	Ecart type	1,20	15,08	3,80	2,25	17,31	3,27
/ka/ vs /kka/ VN	Moyenne	17,90	92,27	39,78	19,27	184,18	40,57
	Ecart type	1,14	14,11	5,50	1,97	15,95	7,99
/Ka/ vs /kka/ VR	Moyenne	15,18	66,72	31,43	16,37	135,95	31,42
	Ecart type	1,94	10,51	4,78	1,68	20,04	5,94
/qa/ vs /qqa/ VN	Moyenne	22,43	86,27	37,78	23,47	176,52	38,03
	Ecart type	4,36	8,99	4,47	4,38	25,15	5,81
/qa/ vs /qqa/ VR	Moyenne	18,17	64,80	28,23	19,37	142,48	27,48
	Ecart type	2,77	7,06	3,15	3,14	41,11	3,00

1) Dans cette position d'initiale de mot, la distinction entre simples et géminées reste toujours possible, au niveau intersegmental, grâce à la tenue consonantique ; les géminées sont nettement et significativement plus longues que les simples, et cela dans les deux vitesses d'élocution.

2) La pertinence du silence acoustique pour séparer statistiquement les géminées des simples est démontrée par les données, au niveau intrasegmental, dans cette position aussi, et ce malgré le changement de la vitesse d'élocution.

3) La compression de tous les segments, provoquée par l'augmentation de la vitesse d'élocution, se confirme ici aussi.

Est-ce que l'opposition phonologique de la gémination sera préservée en position finale de mot ? L'analyse qui suit devrait nous apporter des éclaircissements sur cette interrogation.

8.1.3 Les occlusives sourdes en position finale

Les paires d'occlusives sourdes analysées sont : **/at/** ***vs.*** **/att/**

/ak/ ***vs.*** **/akk/**

/aq/ ***vs.*** **/aqq/**

- ***Durées intersegmentales : tenues consonantiques et durées vocaliques***

En position finale, le scénario reste inchangé par rapport aux positions précédentes : pour les occlusives sourdes en vitesse d'élocution normale (Figure 43, à gauche), c'est la tenue consonantique qui est le paramètre significatif / significativement plus longue [t= 22,64,

df= 5, p<0,0001 pour la paire /t /*vs.* /tt/ ; t= 6,945, df= 5, p=0,0010 pour /k/ *vs.* /kk/, et t= 9,306, df= 5, p=0,0002 pour /q/ *vs.* /qq/] distinguant ainsi les simples des géminées.

Nous observons les mêmes stratégies de compression en vitesse d'élocution rapide (Figure 43, à droite) : tous nos paramètres intersegmentaux sont réduits de manière significative [pour les simples [t= 10,63, df= 5, p=0,0001 pour t VN *vs.* t VR; t= 3,973, df= 5, p=0,0106 pour k VN *vs.* k VR, et t= 5,862, df= 5, p=0,0020 pour q VN *vs.* q VR] et pour les géminées : [t= 7,459, df= 5, p=0,0007 pour tt VN *vs.* tt VR ; t= 4,139, df= 5, p=0,0090 pour kk VN *vs.* kk VR, et t= 6,099, df= 5, p=0,0017 pour qq VN *vs.* qq VR]. Malgré cette compression, la distinction entre consonnes simples et consonnes géminées reste possible grâce à une différence significative de la durée de la tenue consonantique [t= 6,633, df= 5, p=0,0012 pour la paire /t /*vs.* /tt/ ; t= 7,715, df= 5, p=0,0006 pour /k/ *vs.* /kk/, et t= 16,84, df= 5, p<0,0001 pour /q/ *vs.* /qq/].

Pour la paire /t/ *vs.* /tt/, nous observons une interaction significative de la durée du silence acoustique entre la gémination et la vitesse d'élocution [F(1,20) = 4,607, p=0,00443], alors que pour les autres paires nous n'observons pas d'interaction [pour la paire /k/ *vs.* /kk/ : F(1,20) = 1,215, p=0,2835 et pour la paire /q/ *vs.* /qq/ : F(1,20) = 0,4675, p=0,5020]. Cependant, la différence de la durée du silence acoustique entre les simples en vitesse normale et les géminées en vitesse rapide est significative pour les trois paires [pour la paire /t /*vs.* /tt/ : t= 6,429, df= 5, p=0,0014; pour la paire /k/ *vs.* /kk/ : t= 2,688, df= 5, p=0,0434 ; pour la paire /q/ *vs.* /qq/ : t= 5,078, df= 5, p=0,0038]. En conclusion, la durée de la tenue consonantique permet de distinguer les simples des géminées même en variant la vitesse d'élocution.

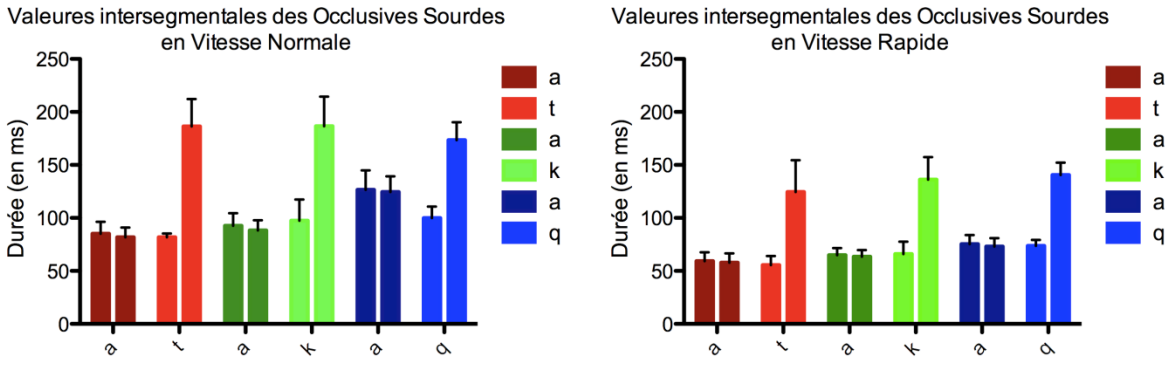


Figure 43 : Valeurs intersegmentales des occlusives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite.

Le Tableau 20 donne les valeurs des moyennes et des écarts-types des six locuteurs pour les paramètres intersegmentaux des trois paires d'occlusives sourdes en vitesses

d'élocution normale et rapide. Nous constatons ici aussi que les écarts-types restent relativement faibles, révélant ainsi un bon contrôle des paramètres temporels, quelle que soit la condition de vitesse d'élocution.

Tableau 20 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intersegmentales des occlusives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms).

		Simple		Géminée	
		a	simple	a	géminée
/ta/ vs /tta/ VN	Moyenne	85,15	81,75	81,87	186,37
	Ecart type	11,12	3,48	9,11	25,91
/ta/ vs /tta/ VR	Moyenne	59,33	55,58	57,82	124,55
	Ecart type	8,34	8,48	8,68	29,99
/ka/ vs /kka/ VN	Moyenne	92,67	97,35	88,13	186,50
	Ecart type	11,71	20,14	9,75	27,94
/Ka/ vs /kka/ VR	Moyenne	64,85	65,93	63,45	136,12
	Ecart type	6,68	11,77	6,28	21,26
/qa/ vs /qqa/ VN	Moyenne	126,65	99,88	124,57	173,40
	Ecart type	18,18	10,87	14,69	16,84
/qa/ vs /qqa/ VR	Moyenne	75,30	73,70	73,07	140,57
	Ecart type	8,58	5,62	7,86	11,58

- ***Durées intrasegmentales : VTT, silence acoustique***

Quant aux durées intrasegmentales du VTT et le silence acoustique, nous remarquons toujours l'importance du silence acoustique pour la distinction des catégories phonologiques, en vitesse d'élocution normale (Figure 44, à gauche). Celui-ci est systématiquement plus long pour les géminées [t= 8,478, df= 5, p<0,0004 pour la paire /t /*vs.* /tt/ ; t= 6,985, df= 5, p<0,0009 pour /k/ *vs.* /kk/, et t= 9,798, df= 5, p=0,0002 pour /q/ *vs.* /qq/] .

En vitesse d'élocution rapide (Figure 44, à droite), la compression se fait de manière significative [pour les simples [t= 4,043, df= 5, p=0,0099 pour t VN *vs.* t VR; t= 3,628, df= 5, p=0,0151 pour k VN *vs.* k VR, et t= 4,060, df= 5, p=0,0097 pour q VN *vs.* q VR] et pour les géminées : [t= 5,901, df= 5, p=0,0020 pour tt VN *vs.* tt VR ; t= 3,715, df= 5, p=0,0138 pour kk VN *vs.* kk VR, et t= 4,267, df= 5, p=0,0080 pour qq VN *vs.* qq VR]. Cette compression ne met pas en danger pour autant les différences de durée du silence acoustique [t= 6,643, df= 5, p=0,0012 pour la paire /t /*vs.* /tt/ ; t= 7,658, df= 5, p=0,0006 pour /k/ *vs.* /kk/, et t= 17,08, df= 5, p<0,0001 pour /q/ *vs.* /qq/].

Comme pour les donées intersegmentales, il y a une interaction significative de la durée du silence acoustique entre la gémination et la vitesse d'élocution pour la paire /t / *vs.* /tt/

[F(1,20) = 4,601, p=0,00444], mais pas pour les paires /k/ *vs.* /kk/ et /q/ *vs.* /qq/: [F(1,20) = 1,307, p=0,2665 pour la paire /k/ *vs.* /kk/ et F(1,20) = 0,5115, p=0,4828 pour la paire /q/ *vs.* /qq/]. Comme précédemment, la différence de la durée du silence acoustique entre les simples en vitesse normale et les géminées en vitesse rapide est significative pour les trois paires [pour la paire /t /*vs.* /tt/ : t= 4,139, df= 5, p=0,0090; pour la paire /k/ *vs.* /kk/ : t= 3,513, df= 5, p=0,0171 ; pour la paire /q/ *vs.* /qq/ : t= 8,661, df= 5, p=0,0003]. Ces résultats confirment que la durée du silence acoustique permet de distinguer les simples des géminées quelle que soit la vitesse d'élocution.

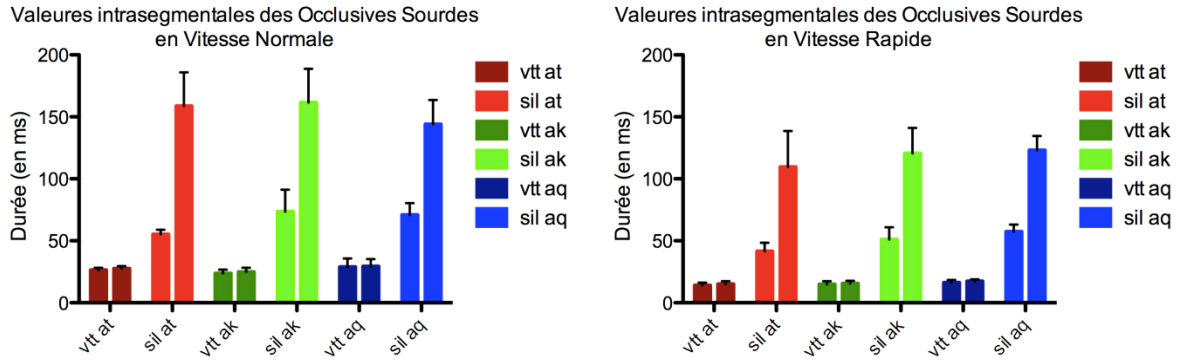


Figure 44 : Valeurs intrasegmentales des occlusives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite.

Le Tableau 21 donne les valeurs des moyennes et des écarts-types des six locuteurs pour les paramètres intrasegmentaux des trois paires d'occlusives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide. Les écarts-types sont faibles reflétant la faible variabilité de tous les paramètres.

Tableau 21: Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intrasegmentales pour des occlusives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms).

		Simple		Géminée	
		vtt	sil	vtt	sil
/at/ vs /att/ VN	Moyenne	26,43	55,32	27,60	158,77
	Ecart type	1,77	3,53	2,00	27,10
/at/ vs /att/ VR	Moyenne	14,03	41,55	15,05	109,50
	Ecart type	2,23	6,81	2,38	29,16
/ak/ vs /akk/ VN	Moyenne	23,72	73,63	24,95	161,55
	Ecart type	3,06	17,55	3,24	27,24
/ak/ vs /akk/ VR	Moyenne	14,85	51,08	15,60	120,52
	Ecart type	2,57	9,90	2,16	20,52
/aq/ vs /aqq/ VN	Moyenne	28,95	70,93	29,40	144,00
	Ecart type	6,88	9,53	5,93	19,66
/aq/ vs /aqq/ VN	Moyenne	16,27	57,43	17,47	123,10
	Ecart type	2,15	5,65	1,52	11,55

1) Dans cette position finale de mot, la distinction entre simples et géminées reste toujours possible, au niveau intersegmental, grâce à la tenue consonantique ; les géminées sont nettement et significativement plus longues que les simples, et cela dans les deux vitesses d'élocution.

2) La pertinence du silence acoustique pour séparer statistiquement les géminées des simples est démontrée par les données, au niveau intrasegmental, dans cette position aussi, même lorsque la vitesse d'élocution est augmentée.

3) La compression de tous les segments, provoquée par l'augmentation de la vitesse d'élocution, se confirme ici aussi.

Par le biais de cette étude des durées absolues, nous avons pu constater que les durées de la tenue consonantique et du silence acoustique des occlusives sourdes géminées sont significativement plus longues que celles de leurs homologues simples, et ce pour les trois positions étudiées (intervocalique, initiale non absolue et finale non absolue). Les différences de durée, obtenues pour ces deux paramètres critiques, sont maintenues en condition de vitesse d'élocution rapide, révélant ainsi la résistivité de ces deux indices temporels qui semblent sous-tendre l'opposition phonologique de la gémination, en contexte non voisé.

Nous allons maintenant adopter la même démarche d'analyse des paramètres intersegmentaux et intrasegmentaux pour les occlusives sonores.

8.2 Les occlusives sonores

8.2.1 Les occlusives sonores en position intervocalique

Dans cette section, nous analyserons les paires d'occlusives sonores suivantes :

/ada/ ***vs.*** **/adda/**

/aga/ ***vs.*** **/agga/**

- ***Durées intersegmentales : tenues consonantiques et durées vocaliques***

L'opposition de quantité consonantique reste possible dans ce contexte sonore, car la tenue consonantique des géminées est significativement supérieure à celle des simples [t= 35,42, df= 5, p<0,0001 pour /d/ *vs.* /dd/ et t= 11,54, df= 5, p<0,0001 pour /g/ *vs.* /gg/]. Les autres paramètres intersegmentaux, la durée de V1 et de V2, ne sont pas pertinents pour permettre une distinction entre les deux classes étudiées.

L'augmentation de la vitesse d'élocution provoque la compression de tous les paramètres intersegmentaux (Figure 45, à droite), [pour les simples : t= 9,138, df= 5, p=0,0003 pour /d/ VN *vs.* /d/ VR et t = 8,662, df= 5, p=0,0003 pour /g/ VN *vs.* /g/ VR et pour les géminées : t= 10,26, df= 5, p=0,0002 pour /dd/ VN *vs.* /dd/ VR et t= 5,642, df= 5, p=0,0024 pour /gg/ VN *vs.* /gg/ VR]. La tenue consonantique reste significativement discriminante, et ce malgré la compression des durées [t= 30,97, df= 5, p<0,0001 pour /d/ *vs.* /dd/ et t= 21,03, df= 5, p<0,0001 pour /g/ *vs.* /gg/].

L'interaction entre la gémination et la vitesse d'élocution est significative pour les paires /d / *vs.* /dd/ et /g/ *vs.* /gg/ [pour la paire /d/ *vs.* /dd/ : F(1,20) = 20,18, p=0,0002; pour la paire /g/ *vs.* /gg/ : F(1,20) = 6,835, p=0,0166]. Pour vérifier le contraste linguistique entre les deux groupes de données temporelles pour ces deux paires, nous avons analysé la différence de la tenue consonantique entre les géminées en vitesse d'élocution rapide et les simples en vitesse d'élocution normale. La différence de tenue consonantique est significative dans cette configuration pour les deux paires [pour la paire /d /*vs.* /dd/ : t= 19,01, df= 5, p<0,0001 et pour la paire /g/ *vs.* /gg/ : t= 19,02, df= 5, p<0,0001]. Nos résultats indiquent que, pour ces deux paires, la tenue consonantique reste la bonne variable acoustique pour distinguer les simples des géminées dans les deux vitesses d'élocution.

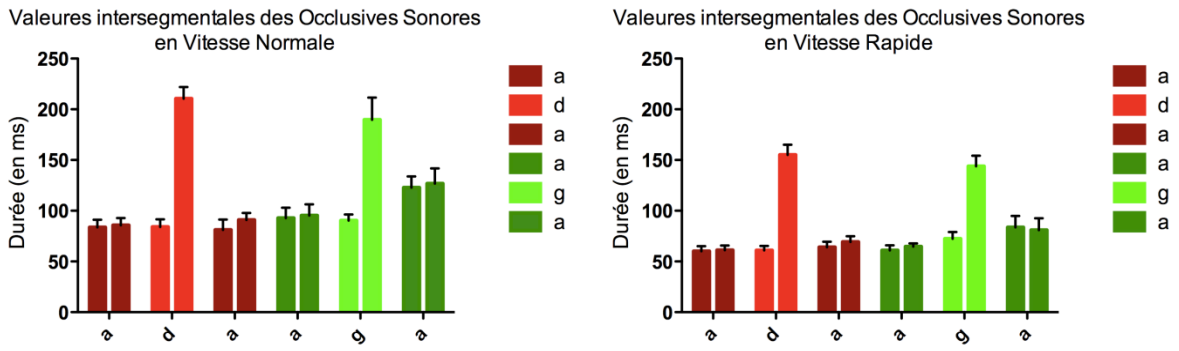


Figure 45 : Valeurs intersegmentales des occlusives sonores en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite.

Le tableau 22 indique les moyennes et les écarts-types des paramètres intersegmentaux des six locuteurs, les écarts-types étant relativement faibles pour ces paramètres.

Tableau 22 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intersegmentales des occlusives sonores en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms).

		Simple			Géminée		
		a	simple	a	a	géminée	a
/ada/ vs /adda/ VN	Moyenne	83,65	83,98	81,22	85,82	210,52	91,00
	Ecart type	7,56	7,49	10,15	6,95	11,56	6,72
/ada/ vs /adda/ VR	Moyenne	60,13	61,00	64,08	61,10	155,05	69,17
	Ecart type	5,04	4,33	5,38	4,67	10,08	5,67
/aga/ vs /agga/ VN	Moyenne	92,85	90,38	122,78	95,28	189,77	126,70
	Ecart type	10,27	5,94	11,10	11,10	21,87	15,04
/aga/ vs /agga/ VR	Moyenne	61,00	72,32	83,65	64,62	143,88	80,90
	Ecart type	4,98	6,78	11,20	3,28	10,41	11,70

- ***Durées intrasegmentales : Durée d'occlusion et VOT***

L'analyse des intervalles intrasegmentaux de la tenue consonantique, à savoir la durée de l'occlusion et le VOT, montre qu'en vitesse d'élocution normale (Figure 46, à gauche), la durée de l'occlusion des géminées est significativement supérieure à celle de leurs homologues simples [t = 33,20, df= 5, p<0,0001 pour /d /*vs.* /dd/ et t= 12,07, df= 5, p<0,0001 pour /g/ *vs.* /gg/]. En ce qui concerne le VOT, il a simplement tendance à être plus long pour les géminées (p=*ns*).

L'augmentation de la vitesse d'élocution (Figure 46, à droite) provoque une compression significative de la durée de l'occlusion et de la durée du VOT [pour les simples t= 8,049, df= 5, p=0,0005 pour /d/ VN *vs.* /d/ VR et t= 8,041, df= 5, p=0,0005 pour /g/ VN *vs.* /g/ VR et pour les géminées : t= 9,208, df= 5, p=0,0003 pour /dd/ VN *vs.* /dd/ VR et t= 6,094, df= 5, p=0,0017 pour /gg/ VN *vs.* /gg/ VR]. Toutefois, la durée de l'occlusion résiste, en tant que paramètre discriminant, à cette perturbation provoquée par l'augmentation de la vitesse d'élocution [t= 26,29, df= 5, p<0,0001 pour /d/ *vs.* /dd/ et t= 20,16, df= 5, p<0,0001 pour /g/ *vs.* /gg/].

La aussi, nous obtenons la même situation que celle avec les données intervocaliques, c'est-à-dire une interaction significative de la durée d'occlusion entre la gémination et la vitesse d'élocution pour les paires /d / *vs.* /dd/ et /g/ *vs.* /gg/ [pour la paire /d/ *vs.* /dd/ : F(1,20) = 25,66, p<0,0001; pour la paire /g/ *vs.* /gg/ : F(1,20) = 8,588, p=0,0083]. Par conséquent, nous avons testé la différence de la durée d'occlusion entre les géminées en vitesse d'élocution rapide et les simples en vitesse d'élocution normale. Cette différence est significative pour les deux paires [pour la paire /d /*vs.* /dd/ : t= 19,69, df= 5, p<0,0001 et pour la paire /g/ *vs.* /gg/ : t= 16,06, df= 5, p<0,0001]. Cette observation confirme que la durée

d'occlusion est le paramètre acoustique principal pour distinguer les simples des géminées dans les deux vitesses d'élocution.

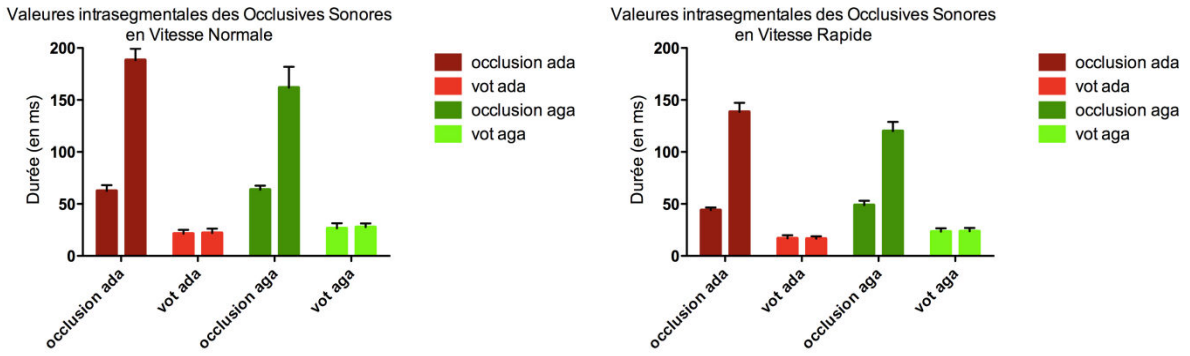


Figure 46 : Valeurs intrasegmentales les occlusives sonores en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite.

Le Tableau 23 donne les valeurs des moyennes et des écarts-types pour les paramètres intrasegmentaux de six locuteurs. Au regard des écarts-types, la variabilité est réduite aussi bien pour la durée de l'occlusion que pour le VOT, et cela pour les simples et les géminées.

Tableau 23 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intrasegmentales des occlusives sonores en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms).

		Simple		Géminée	
		tenue	vot	tenue	vot
/ada/ vs /adda/ VN	Moyenne	62,63	21,35	188,45	22,07
	Ecart type	5,48	3,67	10,87	4,23
/ada/ vs /adda/ VR	Moyenne	44,02	16,98	138,50	16,55
	Ecart type	2,52	2,94	8,70	2,32
/aga/ vs /agga/ VN	Moyenne	63,78	26,60	161,98	27,78
	Ecart type	3,86	4,83	19,93	3,53
/aga/ vs /agga/ VR	Moyenne	48,95	23,37	120,12	23,77
	Ecart type	4,14	3,17	8,81	3,07

Grâce à nos données, nous constatons, dans le domaine intersegmental, que :

1) La durée de la tenue consonantique est l'indice principal qui permet, au niveau intersegmental, de distinguer les occlusives sonores simples des occlusives sonores géminées en position intervocalique, et cela dans les deux conditions de vitesses d'élocution.

2) La durée de l'occlusion (tenue consonantique moins le VOT), dans le champ intrasegmental, permet, elle aussi, de séparer nos deux catégories phonologiques.

3) Les segments subissent une compression en vitesse d'élocution rapide.

4) Bien qu'il existe une interaction entre la gémination et la vitesse d'élocution pour les 2 paires /d/ *vs.* /dd/ et /g/ *vs.* /gg/, la différence significative de la durée de la tenue consonantique ou de la durée de l'occlusion entre les géminées en vitesse d'élocution rapide et les simples en vitesse d'élocution normale confirme la robustesse de ces deux paramètres pour distinguer les simples des géminées même en faisant varier la vitesse d'élocution.

8.2.2 Les occlusives sonores en position initiale

Les paires d'occlusives sonores analysées sont : **/da/ *vs.* /dda/**
/ga/ *vs.* /gga/

- ***Durées intersegmentales : tenues consonantiques et durées vocaliques***

En position initiale, la différence entre simples et géminées se fait selon le même scénario que celui décrit *supra* ; dans les deux conditions de vitesses d'élocution, à savoir en vitesse d'élocution normale (Figure 47, à gauche), [t= 11,79, df= 5, p<0,0001 pour /d/ *vs.* /dd/ et t= 16,90, df= 5, p<0,0001 pour /g/ *vs.* /gg/], comme en vitesse d'élocution rapide (Figure 47, à droite). Il en est de même de tous les paramètres intersegmentaux qui sont comprimés de manière significative [pour les simples : t= 6,577, df= 5, p=0,0012 pour /d/ VN *vs.* /d/ VR et t = 5,691, df= 5, p=0,0023 pour /g/ VN *vs.* /g/ VR et pour les géminées : t= 6,895, df= 5, p=0,0010 pour /dd/ VN *vs.* /dd/ VR et t= 6,284, df= 5, p=0,0015 pour /gg/ VN *vs.* /gg/ VR]. Nous retrouvons dans ce contexte aussi la robustesse de la tenue consonantique en tant que paramètre de prédilection pour l'opposition de la quantité consonantique [t= 9,708, df= 5, p=0,0002 pour /d/ *vs.* /dd/ et t= 15,87, df= 5, p<0,0001 pour /g/ *vs.* /gg/].

Nous observons une absence d'interaction entre la gémination et la vitesse d'élocution pour les paires /d / *vs.* /dd/ et /g/ *vs.* /gg/ [pour la paire /d/ *vs.* /dd/ : F(1,20) = 1,643, p=0,2626; pour la paire /g/ *vs.* /gg/ : F(1,20) = 1,980, p=0,1747]. A titre indicatif, nous avons également analysé la différence de la tenue consonantique entre les géminées en vitesse d'élocution rapide et les simples en vitesse d'élocution normale et cette différence est significative pour les deux paries [pour la paire /d /*vs.* /dd/ : t= 5,949, df= 5, p=0,0019 et pour la paire /g/ *vs.* /gg/ : t= 5,011, df= 5, p=0,0041]. Ces résultats indiquent que la tenue consonantique est le correlat acoustique principal pour distinguer les simples des géminées dans les deux vitesses d'élocution.

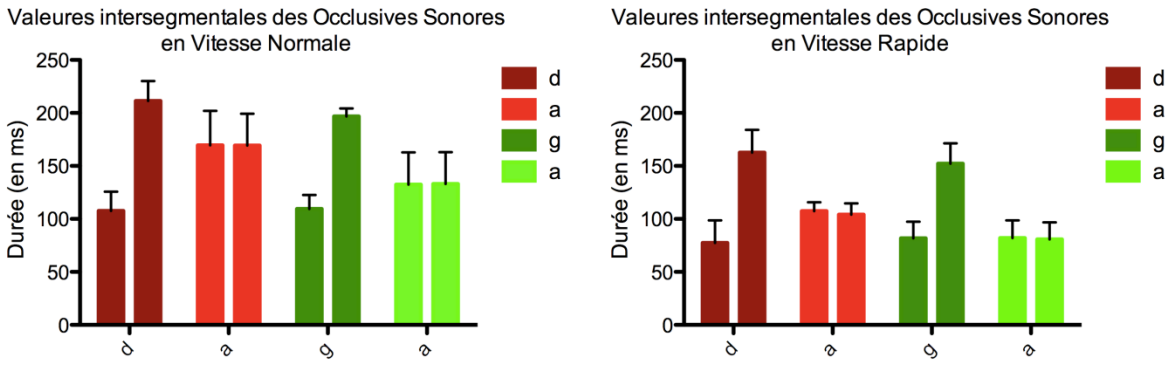


Figure 47 : Valeurs intersegmentales des occlusives sonores en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite.

Le Tableau 24 indique les valeurs des moyennes et les faibles valeurs des écarts-types des paramètres intersegmentaux des six locuteurs. Les résultats sont comparables à ceux observés en position intervocalique.

Tableau 24 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intersegmentales des occlusives sonores en vitesses d'élocution normale rapide en (ms).

		Simple		Géminée	
		simple	a	géminée	a
/da/ vs /dda/ VN	Moyenne	107,60	169,38	211,42	169,35
	Ecart type	18,15	32,57	18,63	29,91
/da/ vs /dda/ VR	Moyenne	77,48	107,43	162,58	104,08
	Ecart type	21,16	8,20	21,39	10,67
/ga/ vs /gga/ VN	Moyenne	109,38	132,45	196,67	133,07
	Ecart type	13,12	30,32	7,57	29,92
/ga/ vs /gga/ VR	Moyenne	81,67	82,05	152,27	80,82
	Ecart type	15,69	16,53	19,17	15,99

- ***Durées intrasegmentales : Durée d'occlusion et VOT***

Ici aussi, seule la durée de l'occlusion permet de différencier les simples des géminées, et cela dans les deux conditions de vitesses d'élocution normale (Figure 48, à gauche) et rapide (Figure 48, à droite). La durée du VOT, elle, ne semble pas contribuer à la distinction des catégories. Les données statistiques sont les suivantes : [t= 11,92, df= 5, p<0,0001 pour /d/ *vs.* /dd/ et t= 16,67, df= 5, p<0,0001 pour /g/ *vs.* /gg/].

En faisant varier la vitesse d'élocution, et donc malgré la compression des paramètres intrasegmentaux, l'analyse statistique montre les résultats suivants : [pour les simples : t= 6,314, df= 5, p=0,0015 pour /d/ VN *vs.* /d/ VR et t = 5,460, df= 5, p=0,0028 pour /g/ VN *vs.*

/g/ VR et pour les géminées : t= 6,497, df= 5, p=0,0013 pour /dd/ VN *vs.* /dd/ VR et t= 6,252, df= 5, p=0,0015 pour /gg/ VN *vs.* /gg/ VR]. Néanmoins, la durée de l'occlusion permet toujours de distinguer les simples des géminées [t= 9,626, df= 5, p=0,0002 pour /d/ *vs.* /dd/ et t= 15,60, df= 5, p<0,0001 pour /g/ *vs.* /gg/].

Comme pour les données intersegmentales, il n'y a pas d'interaction de la durée d'occlusion entre la gémination et la vitesse d'élocution pour les paires /d / *vs.* /dd/ et /g/ *vs.* /gg/ [pour la paire /d/ *vs.* /dd/ : F(1,20) = 1,643, p=0,2146; pour la paire /g/ *vs.* /gg/ : F(1,20) = 3,094, p=0,0939]. Pour information, nous avons également analysé la différence de la durée d'occlusion entre les géminées en vitesse d'élocution rapide et les simples en vitesse d'élocution normale ; cette différence est significative pour les deux paires [pour la paire /d /*vs.* /dd/ : t= 6,328, df= 5, p=0,0015 et pour la paire /g/ *vs.* /gg/ : t= 6,073, df= 5, p=0,0017]. En conclusion, la durée d'occlusion est l'indice acoustique principal pour distinguer les simples des géminées dans les deux vitesses d'élocution.

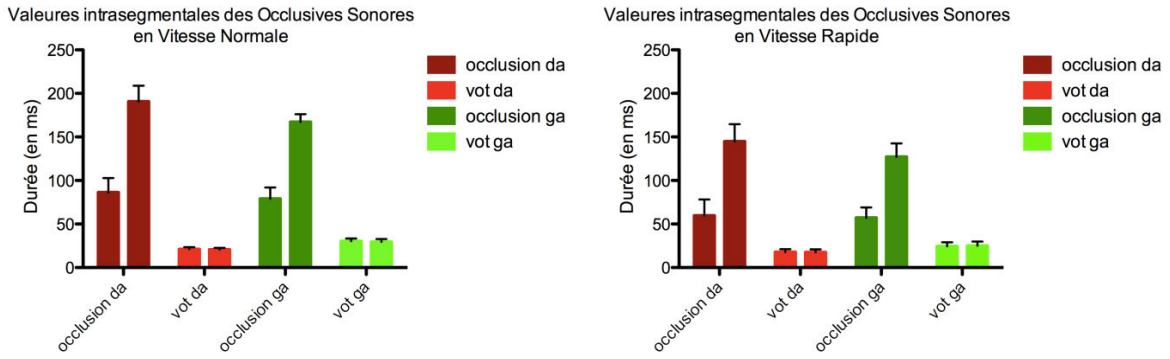


Figure 48 : Valeurs intrasegmentales des occlusives sonores en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite.

Le Tableau 25 indique les valeurs des moyennes et des écarts-types pour les paramètres intrasegmentaux des six locuteurs. Là encore, les écarts-types de la durée de l'occlusion et de la durée du VOT sont faibles.

Tableau 25 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées des occlusives sonores en vitesses d'élocution normale rapide en (ms).

		Simple		Géminée	
		tenue	vot	tenue	vot
/da/ vs /dda/ VN	Moyenne	86,38	21,22	190,70	20,72
	Ecart type	16,33	2,29	18,14	1,94
/da/ vs /dda/ VR	Moyenne	59,72	17,77	144,93	17,65
	Ecart type	18,58	3,42	19,79	3,34
/ga/ vs /gga/ VN	Moyenne	79,12	30,27	167,17	29,50
	Ecart type	12,78	3,24	9,07	3,33
/ga/ vs /gga/ VR	Moyenne	57,13	24,53	127,20	25,07
	Ecart type	11,91	4,52	15,48	4,73

Nos résultats nous permettent de constater qu'en position initiale, et au niveau du timing intersegmental, c'est toujours la durée de la tenue consonantique qui permet de différencier les occlusives sonores simples des occlusives sonores géminées, malgré l'augmentation de la vitesse d'élocution. Nous confirmons, dans cette position initiale de mot aussi, la pertinence de l'occlusion consonantique en tant que paramètre temporel efficace pour distinguer les consonnes simples des géminées. L'augmentation de la vitesse d'élocution a bien été effectuée par nos locuteurs, puisque tous les segments ont été comprimés en vitesse d'élocution rapide.

Voyons maintenant si ce résultat sera observé en position finale.

8.2.3 Les occlusives sonores en position finale

Les paires d'occlusives sourdes analysées sont : **/ad/** ***vs.*** **/add/**

/ag/ ***vs.*** **/agg/**

- ***Durées intersegmentales : tenues consonantiques et durées vocaliques***

Comme en position initiale, les résultats ici sont semblables, à savoir qu'en vitesse d'élocution normale (Figure 49, à gauche), c'est toujours la tenue consonantique qui est le paramètre significatif [t= 12,53, df= 5, p<0,0001 pour /d/ *vs.* /dd/ et t= 10,07, df= 5, p=0,0002 pour /g/ *vs.* /gg/] pour distinguer les simples des géminées. La tenue consonantique des géminées est systématiquement plus longue, et de manière importante pour cette catégorie par rapport aux simples. Ici aussi, l'autre paramètre intersegmental, la durée de V1, ne permet pas de différencier les deux classes.

En vitesse d'élocution rapide (Figure 49, à droite), tous les paramètres intersegmentaux sont comprimés de manière significative [pour les simples : t= 3,522, df= 5, p=0,0169 pour /d/

VN *vs.* /d/ VR et t= 4,926, df= 5, p=0,0044 pour /g/ VN *vs.* /g/ VR et pour les géminées : t= 3,472, df= 5, p=0,0178 pour /dd/ VN *vs.* /dd/ VR et t= 4,938, df= 5, p=0,0043 pour /gg/ VN *vs.* /gg/ VR]. Malgré cette compression de la durée des paramètres, le scénario reste le même qu'en vitesse d'élocution normale. En effet, en vitesse d'élocution rapide, la distinction entre simples et géminées se fait grâce à une tenue consonantique significativement plus longue [t= 15,07, df= 5, p<0,0001 pour /d/ *vs.* /dd/ et t= 10,70, df= 5, p=0,0001 pour /g/ *vs.* /gg/].

Comme en position initiale, nous n'obtenons pas d'interaction entre la gémination et la vitesse d'élocution pour les paires /d / *vs.* /dd/ et /g/ *vs.* /gg/ [pour la paire /d/ *vs.* /dd/ : F(1,20) = 0,03191, p=0,086; pour la paire /g/ *vs.* /gg/ : F(1,20) = 2,489, p=0,1303]. La différence de la tenue consonantique entre les géminées en vitesse d'élocution rapide et les simples en vitesse d'élocution normale est significative pour les deux paires [pour la paire /d /*vs.* /dd/ : t= 5,684, df= 5, p=0,0023 et pour la paire /g/ *vs.* /gg/ : t= 5,719, df= 5, p=0,0023]. Ainsi, la tenue consonantique est toujours la bonne variable acoustique pour distinguer les simples des géminées dans les deux vitesses d'élocution.

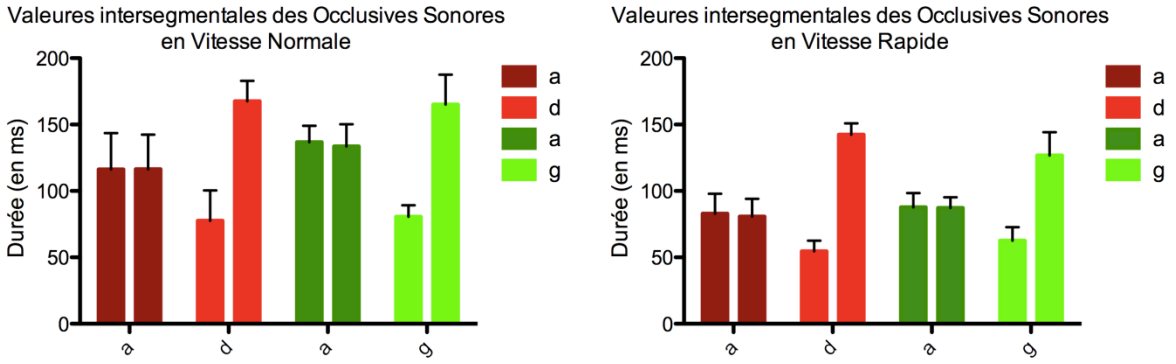


Figure 49 : Valeurs intersegmentales des occlusives sonores en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite.

Le Tableau 26 indique les valeurs moyennes et les écarts-types pour les paramètres intersegmentaux des six locuteurs. Notons que les écarts-types restent relativement faibles pour la tenue consonantique, confirmant ainsi une bonne maîtrise de ce paramètre temporel, quelle que soit la condition de vitesse d'élocution.

Tableau 26 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intersegmentales des occlusives sonores en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms).

		Simple		Géminée	
		a	simple	a	géminée
/ad/ vs /add/ VN	Moyenne	116,22	77,62	116,42	167,57
	Ecart type	27,35	22,87	25,94	15,33
/ad/ vs /add/ VR	Moyenne	82,88	54,63	80,83	142,40
	Ecart type	15,03	8,03	13,26	8,59
/ag/ vs /agg/ VN	Moyenne	136,77	80,58	133,62	165,12
	Ecart type	12,28	8,70	16,59	22,47
/ag/ vs /agg/ VR	Moyenne	87,77	62,53	87,22	126,78
	Ecart type	10,72	10,30	7,95	17,48

En position finale de mot, les données révèlent qu'au niveau du timing intersegmental, c'est décidemment la durée de la tenue consonantique qui permet de différencier les occlusives sonores simples des occlusives sonores géminées, et cela même en vitesse d'élocution rapide. Il en va de même de l'occlusion consonantique en tant que paramètre temporel efficace pour distinguer les consonnes simples des géminées. L'augmentation de la vitesse d'élocution a bien été effectuée par nos locuteurs, puisque tous les segments ont été comprimés en vitesse d'élocution rapide.

A travers cette étude, nous avons pu montrer que la durée de la tenue consonantique des occlusives, ainsi que celle de l'occlusion des sonores géminées étaient significativement plus longues que celle des occlusives sonores simples. Cela est vérifiable dans les deux conditions de vitesses d'élocution, dans les trois positions de mot, à savoir à l'intervocalique, à l'initiale et en finale. Étant donné que les différences de durée, obtenues pour ces deux paramètres temporels de prédilection, sont maintenues en condition de vitesse d'élocution rapide, et malgré la compression subie par tous les segments, ils confirment ainsi leur robustesse dans la distinction phonologique de la gémination, dans ce contexte voisé, tout comme dans le contexte non voisé étudié *supra*.

En ce qui concerne les constrictives non voisées et voisées, nous allons essentiellement procéder à l'analyse de leurs durées intersegmentales, n'ayant pas effectué une détection, peu aisée, du VOT (Klatt, 1975) pour cette catégorie de consonnes et, en conséquence, d'un intervalle intrasegmental clairement occlusif. Comme pour les occlusives, nous examinerons les éventuels indices responsables de la distinction, d'abord, entre les constrictives non voisées simples et géminées, puis entre leurs homologues voisées, et cela pour les trois positions.

La question qui se pose ici, pour les consonnes constrictives qui ont un degré de striction moindre que les occlusives, est de savoir si le contrôle temporel, dans la réalisation du contraste phonologique de la gémination, est similaire, au moins au niveau intersegmental, à celui de leurs homologues occlusives.

8.3 Les constrictives sourdes

8.3.1 Les constrictives sourdes en position intervocalique

Les paires de constrictives sourdes analysées sont : **/asa/** ***vs.*** **/assa/**

/aʃa/ ***vs.*** **/aʃʃa/**

Nous retrouvons pour cette catégorie de consonnes, des résultats similaires à ceux constatés pour les occlusives. En effet, en vitesse d'élocution normale (Figure 50, à gauche), le paramètre saillant de la gémination est toujours la tenue consonantique, car elle est significativement différente entre les simples et les géminées [t= 18,75, df= 5, p<0,0001 pour /s/ *vs.* /ss/ et t= 15,53, df= 5, p<0,0001 pour /ʃ/ *vs.* /ʃʃ/]. De même, la tenue consonantique de la catégorie des géminées est systématiquement et remarquablement plus longue par rapport à celle de leurs homologues simples. En revanche, les autres paramètres intersegmentaux, la durée de V1 et V2, ne permettent pas de différencier les deux classes.

En vitesse d'élocution rapide (Figure 50, à droite), la compression des paramètres intersegmentaux se fait de manière systématique [pour les simples : t= 8,511, df= 5, p=0,0004 pour /s/ VN *vs.* /s/ VR et t= 5,526, df= 5, p=0,0027 pour /ʃ/ VN *vs.* /ʃ/ VR et pour les géminées : t= 8,460, df= 5, p=0,0004 pour /ss/ VN *vs.* /ss/ VR et t= 5,504, df= 5, p=0,0027 pour /ʃʃ/ VN *vs.* /ʃʃ/ VR]. La séparation entre simples et géminées se fait, même si les durées sont comprimées, grâce à une différence significative de la durée de la tenue consonantique, celle des géminées étant plus longue que celle des simples [t= 47,10, df= 5, p<0,0001 pour /s/ *vs.* /ss/ et t= 19,32, df= 5, p<0,0001 pour /ʃ/ *vs.* /ʃʃ/].

Il n'existe pas d'interaction de la durée de la tenue consonantique entre la gémination et la vitesse d'élocution pour les paires /s / *vs.* /ss/ et /ʃ/ *vs.* /ʃʃ/ [pour la paire /s/ *vs.* /ss/ : F(1,20) = 0,6483, p=0,4302; pour la paire /ʃ/ *vs.* /ʃʃ/ : F(1,20) = 0,5456, p=0,4687]. De plus, la différence de la durée de la tenue consonantique entre les géminées en vitesse d'élocution rapide et les simples en vitesse d'élocution normale est significative [pour la paire /s /*vs.* /ss/ : t= 8,328, df= 5, p=0,0004 et pour la paire /ʃ/ *vs.* /ʃʃ/ : t= 9,105, df= 5, p=0,0003]. Ces constats confirment que la tenue consonantique est la bonne variable acoustique pour distinguer les simples des géminées quelle que soit la vitesse d'élocution.

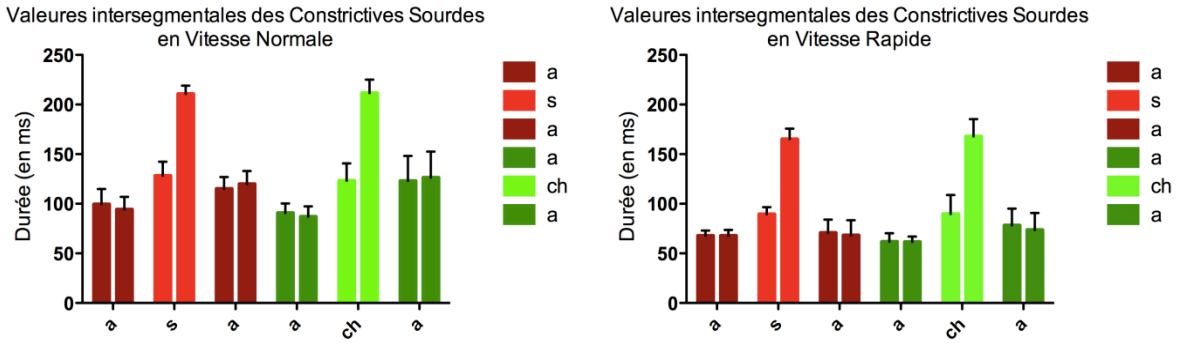


Figure 50 : Valeurs intersegmentales des constrictives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite.

Le Tableau 27 indique les valeurs des moyennes et des écarts-types des paramètres intersegmentaux des six locuteurs. Notons que les écarts-types restent relativement faibles pour la tenue consonantique, semblant ainsi confirmer un bon contrôle temporel des relations intersegmentales, quelle que soit la condition de vitesse d'élocution.

Tableau 27 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intersegmentales des constrictives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms).

		Simple			Géminée		
		a	simple	a	a	géminée	a
/asa/ vs /assa/ VN	Moyenne	99,40	128,30	115,12	94,35	210,75	119,83
	Ecart type	15,40	14,06	11,89	12,67	8,37	13,19
/asa/ vs /assa/ VR	Moyenne	67,88	89,47	70,68	67,90	165,08	68,25
	Ecart type	5,07	7,07	13,36	5,82	10,72	15,12
/acha/ vs /achcha/ VN	Moyenne	90,63	123,13	123,08	86,97	211,50	126,33
	Ecart type	9,58	17,70	25,11	10,49	13,57	26,37
/acha/ vs /achcha/ VR	Moyenne	61,83	89,65	78,22	61,55	167,85	73,70
	Ecart type	8,46	19,10	16,88	5,39	17,51	16,99

Ces résultats renforcent la relevance de la tenue consonantique comme corrélat principal, responsable de l'opposition des constrictives simples et géminées en position intervocalique. Ce paramètre reste significatif avec l'augmentation de la vitesse d'élocution, malgré la compression qu'il subit. La durée des voyelles, elle, ne semble pas contribuer au niveau temporel à renforcer la distinctivité phonologique. Nous proposons de procéder à la même analyse pour la position initiale.

8.3.1 Les constrictives sourdes en position initiale

Les paires de constrictives sourdes analysées sont : **/sa/ *vs.* /ssa/**

/ʃa/ *vs.* /ʃʃa/

Les observations faites pour la position intervocalique sont semblables à celles que l'on peut faire pour la position initiale ; pour les consonnes sourdes en vitesse d'élocution normale (Figure 51, à gauche), la tenue consonantique est significativement plus longue pour la classe des géminées par rapport aux simples [t= 28,54, df= 5, p<0,0001 pour /s/ *vs.* /ss/ et t= 26,92, df= 5, p<0,0001 pour /ʃ/ *vs.* /ʃʃ/]. En revanche, la voyelle suivante ne contribue pas à différencier les deux classes phonologiques.

En vitesse d'élocution rapide (Figure 51, à droite), la compression des paramètres intersegmentaux est de mise, et cela de manière significative [pour les simples : t= 6,706, df= 5, p=0,0011 pour /s/ VN *vs.* /s/ VR et t= 7,392, df= 5, p=0,0007 pour /ʃ/ VN *vs.* /ʃ/ VR et pour les géminées : t= 5,432, df= 5, p=0,0029 pour /ss/ VN *vs.* /ss/ VR et t= 6,666, df= 5, p=0,0011 pour /ʃʃ/ VN *vs.* /ʃʃ/ VR]. De plus, la tenue consonantique des géminées reste significativement plus longue que celle des simples [t= 13,32, df= 5, p<0,0001 pour /s/ *vs.* /ss/ et t= 24,46, df= 5, p<0,0001 pour /ʃ/ *vs.* /ʃʃ/].

Comme précédemment, nous n'observons pas d'interaction de la durée de la tenue consonantique entre la gémination et la vitesse d'élocution pour les constrictives sourdes en position initiale du mot [pour la paire /s/ *vs.* /ss/ : F(1,20) = 1,846, p=0,1894; pour la paire /ʃ/ *vs.* /ʃʃ/ : F(1,20) = 0,7391, p=0,4001]. De manière concordante, la différence de la durée de la tenue consonantique entre les géminées en vitesse d'élocution rapide et les simples en vitesse d'élocution normale est significative [pour la paire /s /*vs.* /ss/ : t= 7,540, df= 5, p=0,0007 et pour la paire /ʃ/ *vs.* /ʃʃ/ : t= 6,728, df= 5, p=0,0011]. Tous ces résultats confirment que la tenue consonantique est le correlat acoustique principal pour distinguer les simples des géminées quelle que soit la vitesse d'élocution.

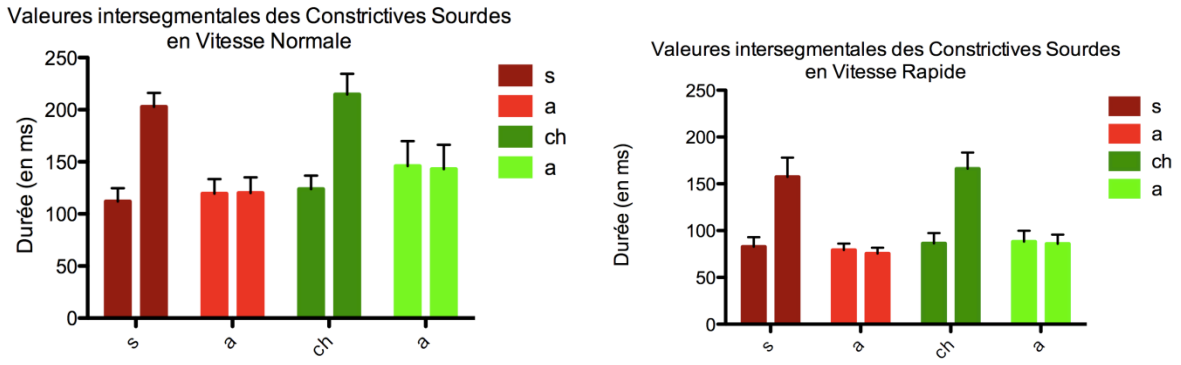


Figure 51 : Valeurs intersegmentales des constrictives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite.

Le Tableau 28 indique les moyennes et les écarts-types des paramètres intersegmentaux mesurés chez les six locuteurs. Les résultats montrent des écarts-types faibles.

Tableau 28 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées des constrictives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide.

		Simple		Géminée	
		simple	a	géminée	a
/sa/ vs /ssa/ VN	Moyenne	112,00	119,42	202,82	120,03
	Ecart type	12,67	14,00	13,23	15,04
/sa/ vs /ssa/ VR	Moyenne	82,85	79,25	157,30	75,52
	Ecart type	10,26	6,90	20,73	6,31
/cha/ vs /chcha/ VN	Moyenne	123,83	145,87	214,67	142,98
	Ecart type	12,92	24,01	19,88	23,43
/cha/ vs /chcha/ VR	Moyenne	86,28	88,23	166,10	85,87
	Ecart type	11,13	11,65	17,30	9,77

Nous observons effectivement qu'en position initiale, la durée de la tenue consonantique permet de distinguer les constrictives simples des constrictives géminées, dans les deux conditions de vitesse d'élocution. Ce résultat montre ainsi que ce paramètre résiste à la compression des segments induite par l'augmentation de la vitesse d'élocution. Qu'en sera-t-il en position finale ?

8.3.2 Les constrictives sourdes en position finale

Les paires de constrictives sourdes analysées sont : **/as/ *vs.* /ass/**

/aʃ/ *vs.* /aʃʃ/

Le scénario reste inchangé par rapport aux deux positions précédentes. En vitesse d'élocution normale (Figure 52, à gauche), la tenue consonantique est plus longue pour les géminées [t= 24,40, df= 5, p<0,0001 pour /s/ *vs.* /ss/ et t= 22,76, df= 5, p<0,0001 pour /ʃ/ *vs.* /ʃʃ/].

Il en est de même en vitesse d'élocution rapide (Figure 52, à droite) [pour les simples : t= 6,313, df= 5, p=0,0015 pour /s/ VN *vs.* /s/ VR et t= 5,933, df= 5, p=0,0019 pour /ʃ/ VN *vs.* /ʃ/ VR et pour les géminées : t= 4,505, df= 5, p=0,0064 pour /ss/ VN *vs.* /ss/ VR et t= 4,698, df= 5, p=0,0053 pour /ʃʃ/ VN *vs.* /ʃʃ/ VR]. La distinction entre les simples et les géminées est maintenue grâce à une différence significative de la tenue consonantique [t= 18,34, df= 5, p<0,0001 pour /s/ *vs.* /ss/ et t= 17,39, df= 5, p<0,0001 pour /ʃ/ *vs.* /ʃʃ/].

Là encore, il n'y a pas d'interaction de la durée de la tenue consonantique entre la gémination et la vitesse d'élocution pour les constrictives sourdes en position finale du mot

[pour la paire /s/ *vs.* /ss/ : F(1,20) = 0,09875, p=0,7566; pour la paire /ʃ/ *vs.* /ʃʃ/ : F(1,20) = 0,004406, p=0,9477]. De plus, la différence de la durée de la tenue consonantique entre les géminées en vitesse d'élocution rapide et les simples en vitesse d'élocution normale est également significative [pour la paire /s /*vs.* /ss/ : t= 6,666, df= 5, p=0,0011 et pour la paire /ʃ/ *vs.* /ʃʃ/ : t= 7,649, df= 5, p=0,0006]. En conclusion, la tenue consonantique est la bonne variable acoustique pour distinguer les simples des géminées quelle que soit la vitesse d'élocution.

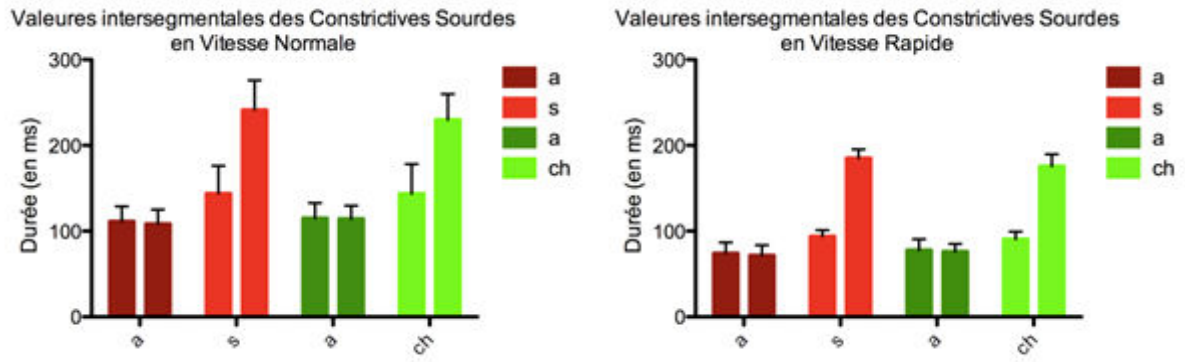


Figure 52 : Valeurs intersegmentales des constrictives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite.

Le Tableau 29 indique les moyennes et les écarts-types des les paramètres intersegmentaux pour les six locuteurs ; les écarts-types restent faibles.

Tableau 29 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intersegmentales des constrictives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms).

		Simple		Géminée	
		a	simple	a	géminée
/as/ vs /ass/ VN	Moyenne	111,45	130,17	108,32	231,25
	Ecart type	17,38	14,84	16,68	21,09
/as/ vs /ass/ VR	Moyenne	74,08	93,88	71,72	185,92
	Ecart type	12,72	7,18	11,97	9,09
/ach/ vs /achch/ VN	Moyenne	115,03	125,08	114,35	226,70
	Ecart type	17,88	13,15	15,24	20,17
/ach/ vs /achch/ VR	Moyenne	77,98	91,50	76,12	177,68
	Ecart type	12,66	7,33	9,10	11,36

Lorsque les constrictives sourdes sont en position finale du mot, la tenue consonantique reste le paramètre temporel critique pour assurer la distinction entre constrictives simples et constrictives géminées, quelle que soit la condition de vitesse d'élocution. Ce résultat révèle

ainsi que ce paramètre résiste à la compression des segments, induite par l'augmentation de la vitesse d'élocution.

Nos données indiquent que la durée de la tenue consonantique des constrictives non voisées géminées est plus longue que celle des simples, et ce pour toutes les positions : intervocalique, initiale et finale de mot. La durée des voyelles adjacentes ne contribue pas à différencier les catégories phonologiques. Si tous les segments sont comprimés avec l'augmentation de la vitesse d'élocution, le maintien du contraste phonologique repose tout de même sur cette différence de durée de la tenue consonantique entre consonnes simples et géminées.

Nous allons maintenant étudier les durées intersegmentales des constrictives voisées simples et géminées, toujours dans les trois positions de mots, et dans les deux conditions de vitesse d'élocution.

8.4 Les constrictives sonores

8.4.1 Les constrictives sonores en position intervocalique

Les paires de constrictives sonores analysées sont : **/aza/ *vs.* /azza/**
/aʒa/ *vs.* /aʒʒa/

La sonorité ne modifie pas l'opposition de quantité consonantique. Les géminées sont toujours remarquablement plus longues que les simples en vitesse d'élocution normale (Figure 53, à gauche), [t= 19,67, df= 5, p<0,0001 pour /z/ *vs.* /zz/ et t= 16,16, df= 5, p<0,0001 pour /ʒ/ *vs.* /ʒʒ/]. La durée de V1 et de V2 ne permet toujours pas de différencier les deux classes.

En vitesse d'élocution rapide (Figure 53, à droite), les paramètres intersegmentaux sont comprimés de manière significative [pour les simples : t= 4,608, df=5, p=0,0058 pour /z/ VN *vs.* /z/ VR et t= 2,630, df= 5, p=0,0465 pour /ʒ/ VN *vs.* /ʒ/ VR et pour les géminées : t= 6,697, df= 5, p=0,0011 pour /zz/ VN *vs.* /zz/ VR et t= 4,235, df= 5, p=0,0082 pour /ʒʒ/ VN *vs.* /ʒʒ/ VR]. Malgré la compression de la durée des paramètres, le scénario reste le même qu'en vitesse d'élocution normale. [t= 24,71, df= 5, p<0,0001 pour /z/ *vs.* /zz/ et t= 21,42, df= 5, p<0,0001 pour /ʒ/ *vs.* /ʒʒ/].

Nous observons une absence d'interaction de la durée de la tenue consonantique entre la gémination et la vitesse d'élocution pour les paires /z/ *vs.* /zz/ et /ʒ/ *vs.* /ʒʒ/ [pour la paire /z/ *vs.* /zz/ : F(1,20) = 2,157, p=0,1574; pour la paire /ʒ/ *vs.* /ʒʒ/ : F(1,20) = 0,5445, p=0,4692].

Nous observons également une différence significative de la durée de la tenue consonantique entre les géminées en vitesse d'élocution rapide et les simples en vitesse d'élocution normale [pour la paire /z /*vs.* /zz/ : t= 27,79, df= 5, p<0,0001 et pour la paire /ʒ/ *vs.* /ʒʒ/ : t= 12,76, df= 5, p<0,0001]. Ces résultats confirment que la durée de la tenue consonantique est la bonne variable acoustique pour distinguer les simples des géminées dans les deux vitesses d'élocution.

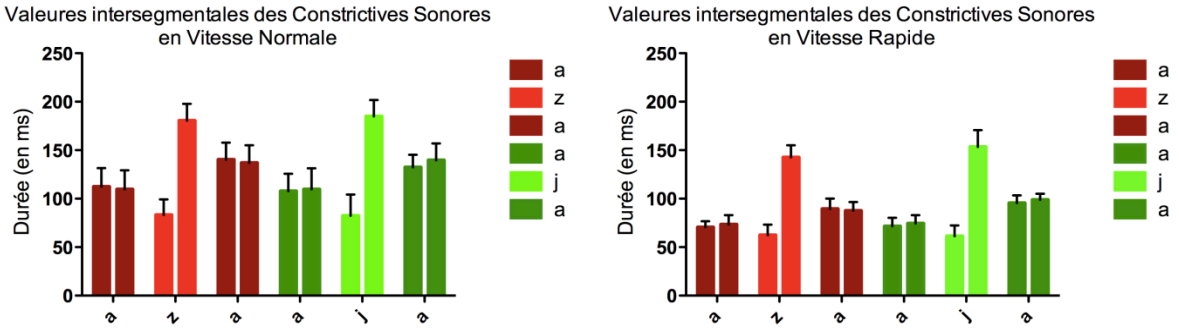


Figure 53 : Valeurs intersegmentales des constrictives sonores en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite.

Le Tableau 30 donne les valeurs des moyennes et des écarts-types des paramètres intersegmentaux pour les six locuteurs et montrent des valeurs faibles pour les écarts-types.

Tableau 30 : Valeurs moyennes et écarts-types des durées intersegmentales des constrictives sonores en vitesses d'élocution normale rapide en (ms).

		Simple			Géminée		
		a	simple	a	a	géminée	a
/aza/ vs /azza/ VN	Moyenne	112,35	83,32	140,22	109,72	180,50	136,98
	Ecart type	19,19	15,94	17,68	19,64	17,34	18,22
/aza/ vs /azza/ VR	Moyenne	70,50	62,43	89,50	73,48	142,62	87,50
	Ecart type	6,24	10,84	10,69	9,51	12,39	9,02
/aja/ vs /ajja/ VN	Moyenne	107,73	82,17	132,30	109,78	184,72	139,65
	Ecart type	18,03	21,95	13,05	21,62	16,77	17,38
/aja/ vs /ajja/ VR	Moyenne	71,55	61,40	95,53	74,53	153,52	98,88
	Ecart type	8,82	10,93	7,89	8,57	17,25	6,27

La tenue consonantique est décidemment le corrélat temporel principal responsable de l'opposition des constrictives sonores simples et géminées en position intervocalique dans les deux vitesses d'élocution. Procédons maintenant à la même analyse pour vérifier l'opposition de ces constrictives en position initiale.

8.4.2 Les constrictives sonores en position initiale

Les paires de constrictives sonores analysées sont : **/za/ *vs.* /zza/**

/ʒa/ *vs.* /ʒʒa/

La classe des géminées reste distincte de celle des simples (Figure 54, à gauche), [t= 21,36, df= 5, p<0,0001 pour /z/ *vs.* /zz/ et t= 25,76, df= 5, p<0,0001 pour /ʒ/ *vs.* /ʒʒ/]. Le constat est le même en vitesse d'élocution rapide (Figure 54, à droite), [pour les simples : t= 8,239, df=5, p=0,0004 pour /z/ VN *vs.* /z/ VR et t= 7,442, df= 5, p=0,0007 pour /ʒ/ VN *vs.* /ʒ/ VR et pour les géminées : t= 5,297, df= 5, p=0,0032 pour /zz/ VN *vs.* /zz/ VR et t= 6,570, df= 5, p=0,0012 pour /ʒʒ/ VN *vs.* /ʒʒ/ VR]. La tenue consonantique des géminées demeure significativement plus longue que celle des simples [t= 22,55, df= 5, p<0,0001 pour /z/ *vs.* /zz/ et t= 16,65, df= 5, p<0,0001 pour /ʒ/ *vs.* /ʒʒ/].

Comme observé en position intervocalique, il n'y a pas d'interaction de la durée de la tenue consonantique entre la gémination et la vitesse d'élocution pour les constrictives sonores en position initiale du mot [pour la paire /z/ *vs.* /zz/ : F(1,20) = 1,188, p=0,2888; pour la paire /ʒ/ *vs.* /ʒʒ/ : F(1,20) = 0,4606, p=0,5051]. Il y a également une différence significative de la durée de la tenue consonantique entre les géminées en vitesse d'élocution rapide et les simples en vitesse d'élocution normale [pour la paire /z /*vs.* /zz/ : t= 9,473, df= 5, p=0,0002 et pour la paire /ʒ/ *vs.* /ʒʒ/ : t= 12,71, df= 5, p<0,0001]. Ces résultats confirment que la durée de la tenue consonantique permet la distinction entre les consonnes simples et les consonnes géminées quelle que soit la vitesse d'élocution.

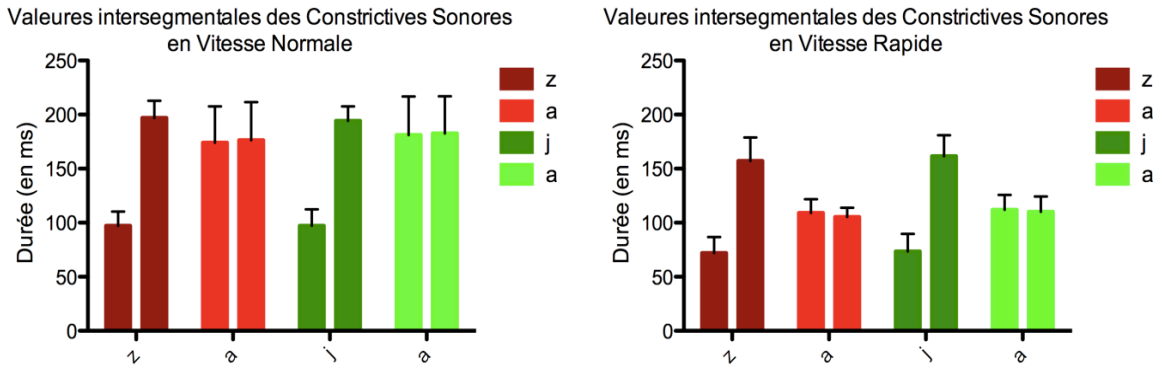


Figure 54 : Valeurs intersegmentales des constrictives sonores en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite.

Le Tableau 31 indique les moyennes et les écarts-types (relativement faibles) des paramètres intersegmentaux pour les six locuteurs.

Tableau 31 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intersegmentales des constrictives sonores en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms).

		Simple		Géminée	
		simple	a	géminée	a
/za/ vs /zza/ VN	Moyenne	97,12	174,12	197,05	176,38
	Ecart type	13,12	33,48	15,78	35,17
/za/ vs /zza/ VR	Moyenne	72,03	109,10	157,12	105,37
	Ecart type	14,81	12,61	21,76	8,47
/ja/ vs /jja/ VN	Moyenne	97,23	181,17	194,22	182,52
	Ecart type	15,16	35,66	13,43	34,48
/ja/ vs /jja/ VR	Moyenne	73,53	112,08	161,52	110,12
	Ecart type	16,25	13,67	19,51	14,13

Ayant confirmé qu'en position initiale la durée de la tenue consonantique permet de distinguer les constrictives simples des constrictives géminées dans les deux vitesses d'élocution, il nous reste à vérifier si l'on peut obtenir les mêmes résultats ou non pour les mêmes constrictives en position finale.

8.4.3 Les constrictives sonores en position finale

Les paires de constrictives sonores analysées sont : **/az/ *vs.* /azz/**

/aʒ/ *vs.* /aʒʒ/

Les résultats relatifs à la pertinence de la tenue consonantique dans la distinction entre les géminées et les simples sont également observables dans cette position. Cela est vrai en vitesse d'élocution normale (Figure 55, à gauche) [t= 20,33, df= 5, p<0,0001 pour /z/ *vs.* /zz/ et t= 47,71, df= 5, p<0,0001 pour /ʒ/ *vs.* /ʒʒ/]. Le phénomène est corroboré en vitesse d'élocution rapide (Figure 55, à droite), où tous nos paramètres intersegmentaux sont comprimés de manière significative [pour les simples : t= 4,662, df=5, p=0,0055 pour /z/ VN *vs.* /z/ VR et t= 4,602, df= 5, p=0,0058 pour /ʒ/ VN *vs.* /ʒ/ VR et pour les géminées : t= 4,891, df= 5, p=0,0045 pour /zz/ VN *vs.* /zz/ VR et t= 4,820, df= 5, p=0,0048 pour /ʒʒ/ VN *vs.* /ʒʒ/ VR]. Néanmoins, la distinction entre les simples et les géminées se fait grâce à une différence significative de ce paramètre [t= 24,30, df= 5, p<0,0001 pour /z/ *vs.* /zz/ et t= 23,46, df= 5, p<0,0001 pour /ʒ/ *vs.* /ʒʒ/].

Comme pour les positions précédentes, nous n'obtenons pas d'interaction de la durée de la tenue consonantique entre la gémination et la vitesse d'élocution pour les constrictives sonores en position finale du mot [pour la paire /z/ *vs.* /zz/ : F(1,20) = 0,2161, p=0,6470; pour la paire /ʒ/ *vs.* /ʒʒ/ : F(1,20) = 0,1632, p=0,6905]. Nous observons également une différence significative de la durée de la tenue consonantique entre les géminées en vitesse d'élocution

rapide et les simples en vitesse d'élocution normale [pour la paire /z /*vs.* /zz/ : t= 10,51, df= 5, p=0,0001 et pour la paire /ʒ/ *vs.* /ʒʒ/ : t= 7,223, df= 5, p=0,0008]. En conclusion, la durée de la tenue consonantique demeure la bonne variable acoustique pour distinguer les simples des géminées quelle que soit la vitesse d'élocution.

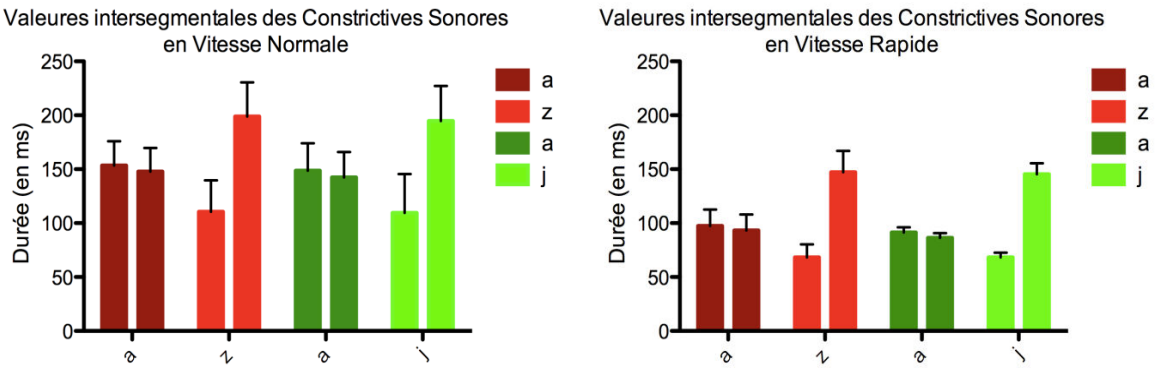


Figure 55 : Valeurs intersegmentales des constrictives sonores en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite.

Le Tableau 32 indique les moyennes et les écarts-types pour les paramètres intersegmentaux pour les six locuteurs. Notons que les écarts-types restent relativement faibles pour la tenue consonantique, illustrant ainsi une bonne maîtrise de ce paramètre temporel, quelle que soit la condition de vitesse d'élocution.

Tableau 32 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intersegmentales des constrictives sonores en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms).

		Simple		Géminée	
		a	simple	a	géminée
/az/ vs /azz/ VN	Moyenne	153,37	105,57	147,90	199,95
	Ecart type	22,67	18,55	21,86	28,96
/az/ vs /azz/ VR	Moyenne	97,42	74,55	93,25	157,68
	Ecart type	15,27	8,81	14,76	15,19
/aj/ vs /ajj/ VN	Moyenne	148,68	96,55	142,42	188,12
	Ecart type	25,28	15,13	23,60	19,35
/aj/ vs /ajj/ VR	Moyenne	91,33	69,12	86,33	148,68
	Ecart type	4,81	4,08	4,41	7,99

En position finale, nous avons montré que la durée de la tenue consonantique des constrictives sonores géminées est plus longue que celle de leurs homologues simples. Nous avons obtenu le même résultat pour les constrictives sonores en position intervocalique et en position initiale. Tous les segments, vocaliques et consonantiques, subissent une compression avec l'augmentation de la vitesse d'élocution.

Dans cette partie, nous avons mesuré la durée des consonnes simples et géminées dans trois positions : intervocalique, initiale non absolue et finale non absolue, produites à deux vitesses d'élocution, normale et rapide.

Nous avons mesuré les durées intersegmentales pour les consonnes simples et géminées dans les trois positions citées ci-dessus. Pour toutes les consonnes, simples et géminées, produites en vitesse d'élocution normale ou rapide, la durée de la tenue consonantique est l'indice principal qui permet de les distinguer.

Nous avons aussi relevé les durées intrasegmentales des occlusives sourdes et sonores en vitesse d'élocution normale et rapide. Les durées intrasegementales ont été prélevées pour les sourdes en position intervocalique, en initiale et finale non absolue, et uniquement en position intervocalique et initiale non absolue pour les sonores. L'analyse a permis de conclure que la durée du silence acoustique est le corrélat principal qui permet de distinguer les occlusives sourdes simples de leurs homologues géminés. Pour les occlusives sonores simples et géminées, c'est la durée de l'occlusion qui sert à distinguer les deux catégories.

La compression des segments, provoquée par l'augmentation de la vitesse d'élocution, ne nuit pourtant pas au maintien du contraste phonologique.

PARTIE 3

Le contrôle spatiotemporel de la gémination

9 Le contrôle spatiotemporel de la gémination

Rappelons que le phénomène de la gémination fait partie d'un cas particulier de production de séquences motrices en parole, à savoir l'exécution supposée de deux gestes identiques simultanément. Vaxelaire (2007) souligne que la mise en lumière des principes de contrôle spatiotemporel pour ces types d'actions motrices est nécessaire pour la modélisation des systèmes biologiques moteurs en général. Elle signale que c'est l'incapacité d'intégrer de tels principes de coordination dans certains modèles de type parallèle (*cf.* Rumelhart & Norman, 1982) pour la production du *doubling* en dactylographie qui avait conduit d'autres chercheurs (par ex. Jordan, 1988) à élaborer des réseaux séquentiels (Sock ,1998).

La compréhension de la production de ces séquences gestuelles consonantiques est également primordiale pour l'élaboration des modèles de production de la parole (*cf.*, par ex., Maeda, 1988 ; 1990). Nous savons, en production de la parole en général, que lorsque deux gestes identiques doivent être produits de manière séquentielle, cette production peut aboutir à une fusion ou à une agrégation de gestes (Munhall & Löfqvist, 1985). En français, cette agrégation se manifeste essentiellement sous forme de consonnes doubles, où des morphèmes hétéromorphémiques différents présentent un seul lieu d'articulation homorganique. En voici quelques exemples tirés de Vaxelaire (1993 ; 2007) : /aka/ *vs.* /akka/, dans les phrases « Très acariâtre. » *vs.* « Les sacs carrés. » et /ada/ *vs.* /adda/, dans les phrases « Il l'a daté. » *vs.* « Pas de date précise. ». Nous aboutissons ainsi à un redoublement consonantique, sans qu'il y ait relâchement du premier /k/ ou du premier /d/. Ici, « l'on fait deux fois […] la même chose […] » (Sock *et al.,* 1989 ; Bouarourou *et al*., 2011).

Nous formulons les *hypothèses* suivantes :

1) Hypothèse n° 1 : La gémination relevant du domaine phonologique de la quantité consonantique, les différences de durée entre les consonnes géminées et les consonnes simples, observées sur le plan acoustique, devraient ici aussi être visibles prioritairement au niveau du *contrôle temporel* des paramètres articulatoires retenus pour cette investigation (*cf. infra*). Il est ainsi probable que l'on trouve des différences de durée des occlusions et de durée des constrictions, entre consonnes simples et leurs homologues géminées.

2) Hypothèse n° 2 : Il est tout-à-fait loisible de croire que les différences temporelles entre les catégories phonologiques, géminées *vs.* simples, pourraient être accompagnées de différences au niveau des déplacements d'articulateurs critiques, soit dans la *dimension spatiale*. En effet, Sock *et al*. (2005) trouvent, pour des oppositions de quantité vocalique en wolof, outre des contrastes temporels entre voyelles brèves et voyelles longues, des

différences au niveau de la taille de certaines constrictions dans le conduit vocal, selon que la voyelle soit brève ou longue.

3) Hypothèse n° 3 : Des différences spatiotemporelles entre nos deux locuteurs pourraient être observées dans cette investigation, si l'on prend en compte les facteurs liés généralement aux spécificités du locuteur.

4) Hypothèse n° 4 : Nous examinerons les phénomènes de l'anticipation, supposant que pour la réalisation de gestes potentiellement plus longs pour les géminées, il soit nécessaire d'initier ceux-ci plus tôt. En corolaire, il est probable que le démarrage des gestes vocaliques post-consonantiques soit retardé en contexte géminé, le temps de réaliser correctement une striction (contact ou constriction) longue, mais anticipé en contexte d'une consonne simple, où la striction dure relativement moins longtemps.

5) Hypothèse n° 5 : Nous supposons, au niveau glottique, que la différence entre simples et géminées serait la même que celle qui oppose la production de consonnes implosives et éjectives, l'ensemble larynx-os hyoïde devant être plus élevé pour les géminées, comme pour les éjectives, à cause d'un taux de la pression intra-orale supérieur pour les géminées, par rapport aux simples. Nous y reviendrons plus loin (Chapitre 10).

L'observation des stratégies spatiotemporelles, déployées pour opposer les simples aux géminées, se fera en fonction de la position des séquences cibles dans les mots.

De manière générale, nous serons attentifs à des différences spatiotemporelles de la gémination, liées au voisement (voisé *vs.* non voisé), ou encore au mode articulatoire de la consonne (occlusive *vs.* constrictive), sans pour autant tenter de tirer des conclusions sûres, puisque le corpus ne nous permet pas de faire des comparaisons *ceteris paribus*.

Pour mémoire, rappelons que pour l'étude du contrôle spatiotemporel du phénomène de la gémination, nous avions retenu les paramètres suivants (voir Chapitre 6):

- L'ouverture de la constriction ;
- La constriction pharyngale ;
- L'aperture labiale ;
- La position du larynx ;
- La position de l'os hyoïde ;
- L'étendue du contact.

Les quatre premiers paramètres seront étudiés aussi bien dans leur dimension spatiale (mm) que temporelle (ms). Les paramètres supraglottiques (l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale) seront analysés séparément des paramètres plutôt glottiques (la position du larynx et la position de l'os hyoïde). En ce qui concerne l'étendue du contact, elle sera examinée à part sur des vues de profil, vu sa nature purement spatiale (voir Chapitre 11).

Étant donné le nombre relativement réduit d'images cinéradiographiques dont nous disposons ici (25 images/s), pour l'étude temporelle d'un phénomène aussi rapide qu'est la réalisation d'une consonne (et notamment d'une occlusive), nous analyserons avec précaution les phénomènes temporels, et particulièrement ceux relatifs aux gestes anticipatoires. Signalons que la segmentation, au niveau temporel, des gestes en configurations vocaliques et consonantiques a été guidée par nos observations des vues de profil, prenant comme repères le contact pour l'émergence du geste fermant consonantique cible, et le relâchement pour l'apparition du geste vocalique ouvrant.

Dans nos analyses du contrôle spatiotemporel de la gémination qui suivent, nous tâcherons de fournir autant de détails que possible, par soucis de clarté (une description image-par-image des paramètres articulatoires retenus). Cela dit, c'est volontairement que nous serons moins prolixes au fur et à mesure que le lecteur se familiarisera avec notre démarche descriptive et analytique, le but étant d'éviter, autant que faire se peut, le caractère rébarbatif que de telles analyses peuvent vite revêtir.

Le contrôle spatiotemporel de la gémination en contexte VCV : les occlusives non voisées

Le contexte alvéolaire /t/

La Figure 56 montre les trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ata/ (à gauche) et /atta/ (à droite) ; locuteur Kh. On voit que, globalement, le timing relatif du geste labial et des gestes linguaux est structurellement comparable pour les deux items. Il en va de même de l'amplitude des gestes qui reste comparable pour les deux termes de l'opposition phonologique. Cependant, au niveau du contrôle temporel, l'ouverture de la constriction indique un contact apico-alvéolaire plus long pour la consonne géminée (images 607 à 609), par rapport à son homologue simple (images 146 à 147). On constate aussi que l'aperture labiale minimale accompagne le contact lingual, et que cette aperture minimale dure plus longtemps pour la géminée (images de 607 à 609) que pour la simple (images 146 à

147). Le geste pour la réalisation du contact apico-alvéolaire semble entraîner la masse de la langue vers la partie frontale de la cavité buccale, ce qui serait à l'origine d'une augmentation de la taille de la constriction au niveau de la cavité pharyngale, aussi bien pour la consonne simple que pour son homologue géminée de V à C, puis à V. La taille de la cavité pharyngale semble être plus grande pour la géminée, comparée à la simple (une différence maximale de 10 mm). Cette augmentation de la taille de la cavité pharyngale persiste durant le contact alvéolaire, et se maintient plus longtemps pour la géminée, comparée à la consonne simple.

L'observation du timing des gestes dans le contexte /ata/ laisse entrevoir une anticipation des gestes linguaux et du geste labial, pour la production de la consonne, déjà dans les configurations du conduit vocal, associées à la voyelle /a/. En effet, on peut voir que le déplacement de l'apex pour la réalisation du contact apical, ainsi que celui de la langue au niveau pharyngal, et la réduction de l'aperture labiale sont tous entamés durant la réalisation de la voyelle /a/ précédente (image 145). En ce qui concerne la géminée /atta/, l'anticipation des gestes articulatoires pour la réduction de l'aperture labiale et pour le contact apical se fait plus tôt dans les configurations vocaliques, par rapport à la consonne simple. En outre, on voit que l'anticipation du geste apical se fait plus précocement, par rapport aux gestes pharyngal et labial, pour ce locuteur ; il nous reste à vérifier, *infra*, si ce dernier comportement apparaîtra chez le second locuteur. Au relâchement de la consonne, on constate que les gestes pour réaliser le /a/ post-consonantique sont déclenchés de manière anticipatoire, avec une réduction de la taille de la cavité pharyngale et une augmentation de l'aperture labiale. Cependant, ces gestes vocaliques anticipatoires se mettent en place de façon plus graduelle pour la consonne géminée, pour en quelque sorte accorder plus de temps à la réalisation de la gémination.

Pour résumer, l'analyse des données de ce locuteur (Kh), révèle que nos paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale sont de bons candidats pour l'organisation spatiotemporelle de la production de la consonne simple et de son homologue géminée, dans ce contexte apical. Le contact apical est positivement « corrélé » avec l'aperture labiale, ces deux derniers paramètres étant inversement « corrélés » avec la constriction pharyngale. En se focalisant sur le timing de ces trois paramètres articulatoires, nous constatons que c'est le contact apical, plus long pour la géminée, qui est le paramètre de prédilection de la distinction phonologique simple *vs.* géminée. Il est accompagné de l'augmentation de la constriction pharyngale et de la réduction de l'aperture labiale, qui durent plus longtemps pour la géminée comparée à la simple, durant le contact alvéolaire.

Avons-nous affaire ici à un comportement qui serait spécifique à ce locuteur ou pouvons-nous observer des stratégies articulatoires similaires chez le second locuteur ? Si cela est le cas, la pertinence de ces paramètres dans la réalisation de la gémination pourrait être davantage renforcée.

Kh

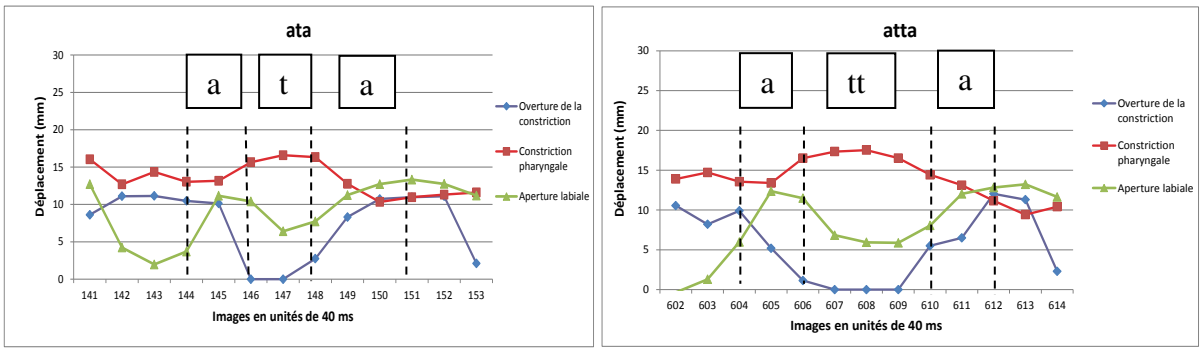


Figure 56 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ata/ (à gauche) et /atta/ (à droite) ; locuteur Kh.

La Figure 57 montre, en effet, que l'organisation spatiotemporelle des gestes articulatoires examinés, dans ce contexte apical /ata/ (à gauche) *vs.* /atta/ (à droite), est remarquablement le même chez ce locuteur F que celle observée pour le locuteur précédent.

Ici aussi, le timing relatif du geste labial et des gestes linguaux est structurellement comparable pour les deux termes de l'opposition phonologique. L'amplitude des gestes reste comparable entre la consonne simple et la consonne géminée. Au niveau du contrôle temporel, l'ouverture de la constriction confirme un contact apical plus long pour la consonne géminée (images 633 à 636), par rapport à son homologue simple (images 187 et 188). La trajectoire de l'aperture labiale évolue dans la même direction que celle pour réaliser le contact lingual, et cette aperture minimale dure plus longtemps pour la géminée (images 633 à 636) que pour la simple (images 187 à 188). Est-ce le geste pour la réalisation du contact apical qui entraîne la masse de la langue vers la partie frontale de la cavité buccale, ce qui serait à l'origine d'une augmentation de la taille de la constriction au niveau de la cavité pharyngale, est le même pour la consonne simple que pour son homologue géminée ? Ou est-ce que ces deux gestes linguaux sont différenciés ? Nous pourrons, peut-être, apporter des éléments de réponse à cette interrogation lorsque nous étudierons la réalisation de la gémination en contexte vélaire. Comme pour le locuteur précédent, la taille de la cavité pharyngale est légèrement plus grande pour la géminée, comparée à la simple (une différence maximale de 20 mm). Cette augmentation de la taille de la cavité pharyngale perdure pendant

le contact apico-alvéolaire, et se maintient plus longtemps pour la géminée, comparée à la consonne simple.

Les stratégies anticipatoires sont comparables pour les deux locuteurs. En effet, les gestes articulatoires pour la production de la consonne démarrent, pour ce locuteur aussi, dans les configurations ouvertes associées à la production de la voyelle. En ce qui concerne la géminée /atta/, il est vrai que les gestes anticipatoires sont initiés plus tôt durant la production de la voyelle précédente, comparée à la consonne simple. En revanche, l'anticipation du geste apical ne se fait pas plus tôt, par rapport aux gestes pharyngal et labial, pour ce second locuteur ; il ne s'agit pas, semble-t-il, d'un comportement à relier explicitement à la réalisation de la gémination. Les gestes vocaliques anticipatoires pour le /a/ subséquent, émergent, ici également, de façon plus graduelle pour la consonne géminée pour, nous supposons, accorder plus de temps à la réalisation de la gémination.

En résumé, étant donné que l'analyse des données de ce locuteur F fait apparaître des ressemblances notoires dans le comportement des paramètres articulatoires retenus, comparé au comportement observé chez le locuteur Kh, nous pouvons poser qu'il s'agit là effectivement de bons candidats pour la mise au jour de l'organisation spatiotemporelle de la production de la consonne simple et de son homologue géminée, dans ce contexte apical. Signalons toutefois, que les gestes de transition des configurations vocaliques ouvrantes aux configurations consonantiques fermantes, montrent une plus grande dynamique chez le locuteur Kh par rapport au locuteur F ; cela serait imputable à des spécificités individuelles.

F

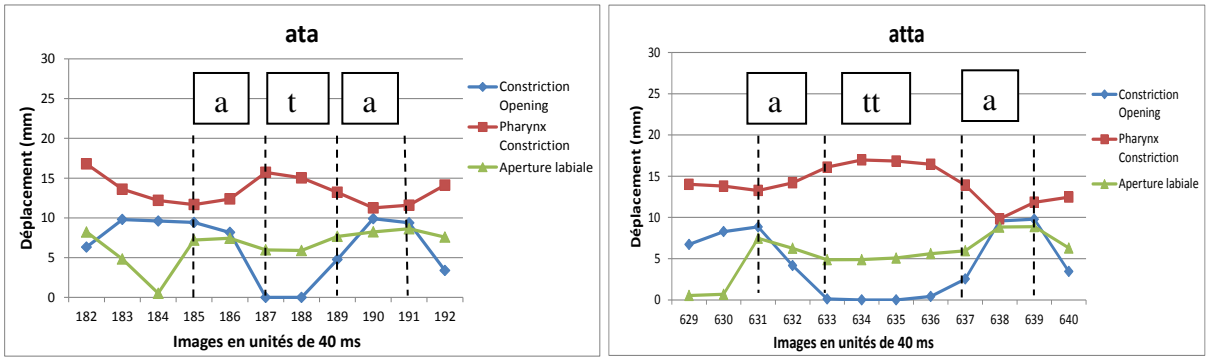


Figure 57 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ata/ (à gauche) et /atta/ (à droite) ; locuteur F

Le contexte vélaire /k/

Ayant observé des stratégies articulatoires similaires chez nos deux locuteurs, la pertinence de ces paramètres dans la réalisation de la gémination semble devenir de plus en plus plausible. Cela dit, il convient maintenant d'examiner le contexte vélaire pour pouvoir évaluer la robustesse de ces stratégies articulatoires. C'est ce que nous proposons de faire dans ce qui suit.

Dans ce contexte vélaire (Figure 58), l'organisation spatiotemporelle des gestes articulatoires demeure globalement similaire pour les deux termes du contraste phonologique : /aka/ (à gauche) *vs.* /akka/ à droite), pour ce locuteur Kh. Les « corrélations » entre les paramètres dans leurs trajectoires sont comparables à celles observées en contexte apical : lorsque le dos de la langue s'élève pour réaliser le contact dorso-vélaire, la taille de la constriction au niveau pharyngale augmente, et l'aperture labiale diminue, accompagnant le geste du dos de la langue pour la réalisation du contact vélaire. La diminution de l'aperture labiale dans ce contexte vélaire est très peu marquée, une partie significative des gestes supraglottiques se produisant plutôt dans la partie arrière du conduit vocal, dans ce contexte vélaire.

Le contact dorso-vélaire est plus long pour la géminée (images 642 à 645) que pour la simple (images 184 à 185). Les deux autres paramètres accompagnent ce contact vélaire avec un maintien d'une cavité pharyngale agrandie plus longtemps et d'une aperture labiale réduite également plus longtemps pour la géminée, comparée à la simple. Etant donné que les zones apicale et laminale de la langue ne sont pas activement sollicitées pour la réalisation de cette consonne, on ne peut pas leur attribuer l'agrandissement du pharynx lors de la réalisation de l'occlusion consonantique ; cette hypothèse paraissait plausible dans le contexte apical. Il semble que cette augmentation de la taille de la cavité pharyngale soit une composante à part entière de l'organisation spatiotemporelle de ces consonnes vélaires, et cela malgré le fait que ces consonnes vélaires soient entourées de la voyelle radico-pharyngale /a/ qui, elle, exige une constriction pharyngale réduite pour l'émergence de sa qualité acoustique. Les voyelles adjacentes et les consonnes vélaires « négocient », en quelque sorte, la trajectoire du geste lingual afin d'atteindre convenablement des configurations ouvrantes et fermantes, respectivement.

Kh

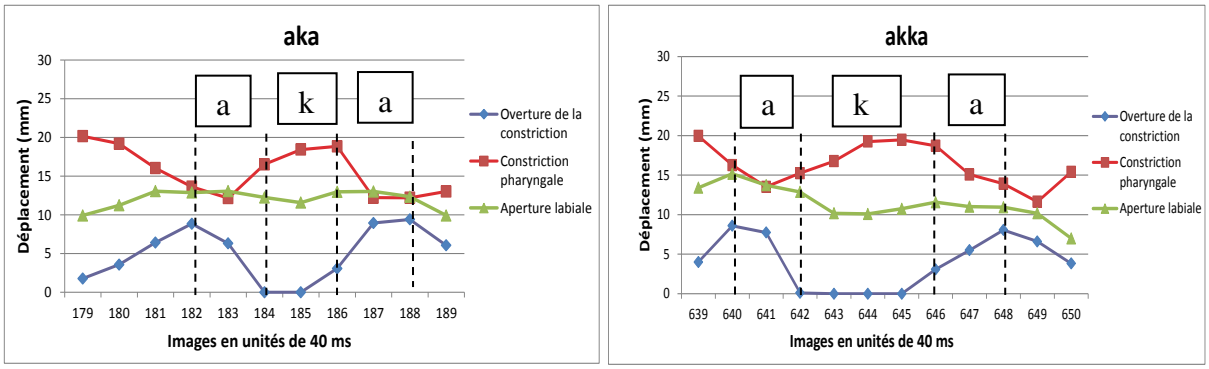


Figure 58 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aka/ (à gauche) et /akka/ (à droite) ; locuteur Kh

Pour le locuteur F, dans ce contexte vélaire (Figure 59), l'organisation spatiotemporelle des gestes articulatoires est structurellement comparable, à peu de choses près, pour les deux items de l'opposition phonologique : /aka/ (à gauche) *vs.* /akka/ (à droite). Nous retrouvons ici aussi les « corrélations » habituelles entre les paramètres dans leurs différentes trajectoires : l'élévation du dos de la langue pour effectuer le contact dorso-vélaire n'empêche pas une augmentation de la taille de la constriction pharyngale, alors que l'aperture labiale, elle, se réduit légèrement, tendant à évoluer dans le même sens (de réduction de la constriction) que le geste du dos de la langue pour la réalisation du contact vélaire.

Le contact dorso-vélaire est plus long pour la géminée (images 673 à 676) que pour la simple (images 224 à 225). L'agrandissement de la cavité pharyngale durant le contact dorso-vélaire demeure plus longtemps pour la géminée, par rapport à la simple. Il en va de même de l'aperture labiale dont la réduction se maintient plus longtemps pour la géminée, comparée à la simple. Les données pour ce locuteur, semblables à celles du locuteur précédent, nous permettent maintenant de poser, en ce qui concerne l'augmentation de la taille de la cavité pharyngale, qu'elle est à associer temporellement et spatialement à la production des consonnes vélaires, simples et géminées. Cette augmentation de la taille du pharynx, ainsi que sa durée, sont plus marquées chez les géminées. La consonne vélaire simple /k/ semble résister moins aux influences du /a/. En effet, l'anticipation des gestes consonantiques, dans les configurations vocaliques ouvrantes, démarre plus tardivement (image 223), comparée à l'initiation plus précoce des gestes anticipatoires consonantiques de la géminée (images 671). Dans la même veine d'une plus faible résistance coarticulatoire de la consonne simple, par rapport à son homologue géminée, on constate une anticipation du geste vocalique de la voyelle subséquente, relativement tôt dans les configurations associées à la consonne simple. En effet la réduction de la constriction pharyngale pour produire le /a/ commence dès la réalisation du contact vélaire (image 224), alors que cette réduction de la taille du pharynx

n'est initiée que tardivement durant le contact vélaire de la géminée (image 676). Les données de ce locuteur confirment ici aussi que les gestes vocaliques anticipatoires pour le /a/ subséquent, émergent de façon plus graduelle pour la consonne géminée pour, nous le supposions, accorder plus de temps à la réalisation de la gémination. Cela suggère que le maintien du contraste phonologique, pour la réalisation de la gémination, prend le pas sur le poids habituellement plus élevé de la voyelle par rapport à la consonne en contexte coarticulatoire purement phonétique.

Si l'on compare les stratégies articulatoires des deux locuteurs, aucune spécificité individuelle n'est décelable dans le contrôle spatiotemporel des gestes des articulateurs. On peut signaler ici et là quelques différences d'amplitudes de mouvement des articulateurs ; ce sont cependant des différences minimes qui ne doivent pas avoir de conséquences acoustiques significatives.

F

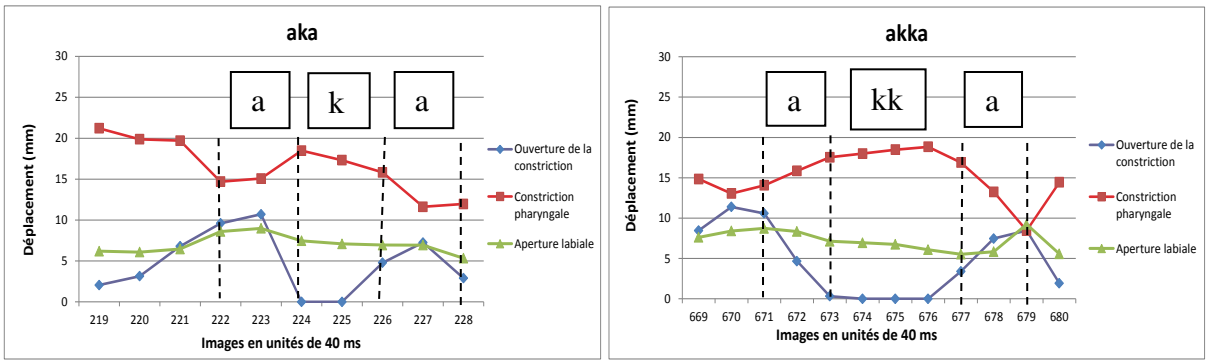


Figure 59 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aka/ (à gauche) et /akka/ (à droite) ; locuteur F

Le contexte uvulaire /q/

Nous proposons, dans la suite de nos analyses, de reculer encore dans le conduit vocal et voir ce qu'il en est des dorso-uvulaires /q/ et /qq/, se rapprochant ainsi du lieu d'articulation pharyngal de la voyelle /a/. Il serait intéressant de savoir ainsi comment nos deux locuteurs vont gérer le timing des gestes articulatoires, à mesure qu'un conflit potentiel entre gestes vocaliques et gestes consonantiques s'accroît. Rappelons que la prise semi-automatique de mesures dans ce contexte avait été problématique (*cf.* Chapitre 7), notamment en ce qui concerne le suivi du contour lingual. Aussi, lorsque nous parlons de contact, il s'agit de constats que nous avons faits à partir de l'analyse des vues de profil qui révèlent de véritables contacts dorso-uvulaires, même si ceux-ci ne sont pas visibles dans les données quantitatives étudiées ci-après.

Nos observations dans ce contexte uvulaire, pour le locuteur Kh (Figure 60), sont les suivantes : les trajectoires des articulateurs sont globalement similaires entre la simple (à gauche) et la géminée (à droite) ; l'ouverture de la constriction diminue dans les deux cas pour réaliser le contact dorso-uvulaire ; le contact est plus long pour la géminée (images 657 à 659) que pour la simple (image 375) ; la constriction pharyngale diminue en même temps que l'ouverture de la constriction, et elle dure plus longtemps pour la géminée que pour la simple ; l'aperture labiale, elle, reste relativement stable durant la séquence entière, VCV.

Kh

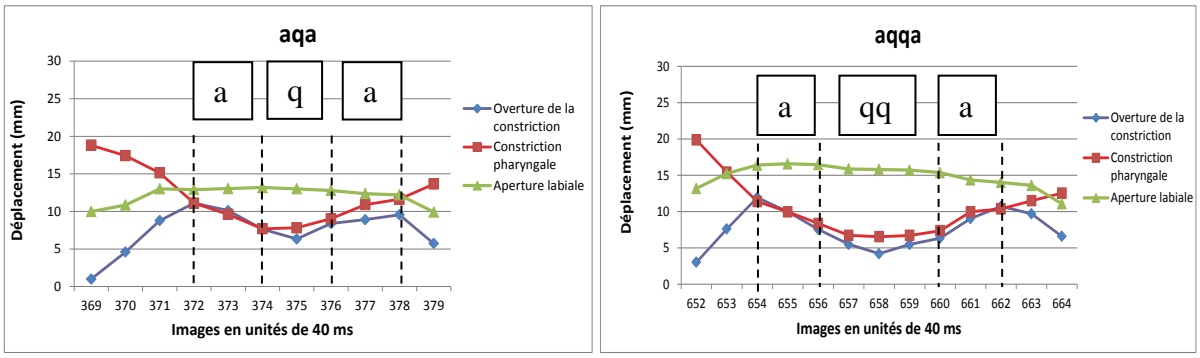


Figure 60 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aqa/ (à gauche) et /aqqa/ (à droite) ; locuteur Kh

Pour ce qui concerne le locuteur F, dans ce contexte uvulaire, la Figure 61 révèle un contact bref pour la simple (à gauche), couplé à une brève réduction de la constriction du pharynx (image 379), et une aperture labiale plus ou moins stable. Pour la géminée, en revanche, le contact dorso-uvulaire est plus long (images 826 à 831), accompagné d'une réduction de la constriction pharyngale remarquablement longue également. Comme dans les cas précédents, la taille de l'ouverture labiale reste assez stable tout au long de la séquence VCV.

Au niveau de la coarticulation anticipatoire, la réduction de l'ouverture de la constriction et de la constriction pharyngale, pour réaliser les consonnes cibles, est amorcée très tôt dans les configurations associées à la production de la voyelle précédente. Ce constat est valable pour les deux locuteurs et pour toutes les occurrences.

On voit aussi que pour le locuteur Kh, l'ouverture de la constriction et la constriction pharyngale augmentent, toutes les deux, dans les configurations consonantiques, par anticipation, pour produire la voyelle subséquente (images 375 et 658, respectivement).

La situation est quelque peu différente pour le locuteur F, chez qui seule la constriction pharyngale augmente de manière continue, en vue de la production du /a/ suivant ; le geste est clairement anticipatoire dans le contexte de la consonne simple (image 379), mais elle l'est

beaucoup moins dans le contexte de la géminée. Pour la consonne simple, l'ouverture de la constriction, après le contact, s'agrandie de manière anticipatoire (image 379), pour commencer à diminuer dans les configurations associées à la voyelle suivante. En ce qui concerne la géminée, cette augmentation de l'ouverture de la constriction se fait tardivement (image 831). Puis, elle reste stable durant la réalisation de la voyelle.

Ainsi, on peut dire qu'aucune stratégie anticipatoire ne semble être mise ici au service de la réalisation de la gémination dans ce contexte, et que seul le locuteur F exploite le phénomène de la rétention du geste consonantique, en contexte de la consonne géminée, afin de marquer le contraste temporelle entre les deux termes de l'opposition phonologique.

F

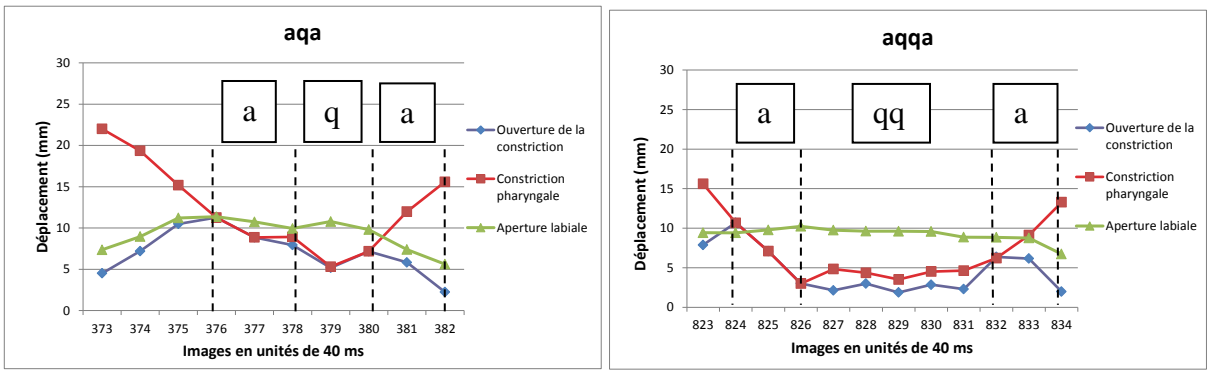


Figure 61 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aqa/ (à gauche) et /aqqa/ (à droite) ; locuteur F

L'analyse des données de nos deux locuteurs, Kh et F, pour ces séquences VCV, où la consonne est une occlusive sourde, révèle que nos paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale sont de bons candidats pour l'étude de l'organisation spatiotemporelle de la production de la consonne simple et de son homologue géminée, aussi bien dans le contexte alvéolaire que vélaire et uvulaire. La trajectoire de ces trois paramètres, dans les configurations consonantiques cibles, est structurellement similaire entre la simple et la géminée.

Au niveau spatial, si la réduction de l'ouverture de la constriction pour réaliser les contacts alvéolaire et vélaire est toujours positivement « corrélée » avec la réduction de l'aperture labiale, ces deux derniers paramètres sont inversement « corrélés » avec la constriction pharyngale ; celle-ci augmente lorsque les deux autres paramètres diminuent. Pour ce qui concerne la consonne uvulaire /q/, en revanche, la constriction pharyngale diminue en même temps que l'ouverture de la constriction, alors que l'aperture labiale, elle, reste relativement stable. Nous posons, au vu de ces résultats, que l'augmentation de la taille de la constriction au niveau de la cavité pharyngale, aussi bien lors de la production de la consonne simple que

de son homologue géminée, n'est pas nécessairement attribuable au geste de protrusion de la langue, vers la partie frontale de la cavité buccale, dans la réalisation du contact alvéolaire. En effet, cette augmentation de la taille de la cavité pharyngale est aussi clairement visible en contexte vélaire, un contexte qui ne favorise pas particulièrement une avancée de la masse linguale. On peut donc, dans ce cas, supposer l'existence d'un geste typiquement consonantique, avec la taille d'une constriction pharyngale spécifique, et un autre geste typiquement vocalique, ayant une constriction pharyngale réduite, intrinsèque à la voyelle radico-pharyngale /a/. Reste maintenant à vérifier cette supposition à partir d'observations en contextes vocaliques d'une voyelle antérieure, telle que le /i/, par exemple.

Par rapport au timing de ces trois paramètres articulatoires, il est évident que c'est le contact alvéolaire, vélaire et uvulaire, plus long pour la géminée, qui est le paramètre préférentiel de la distinction phonologique simple *vs.* géminée. Dans le cas des consonnes alvéolaires et vélaires, ce contact est accompagné de l'augmentation de la constriction pharyngale et de la réduction de l'aperture labiale, qui durent plus longtemps pour la géminée comparée à la simple, pendant l'occlusion. Le contact uvulaire, lui, est accompagné d'une réduction de la constriction pharyngale, qui a une durée plus longue pour les géminées, comparées aux simples. L'aperture labiale, pour l'uvulaire, reste relativement stable tout au long de la production de la séquence VCV.

Toujours au niveau du timing articulatoire, nous avons constaté que les gestes anticipatoires, pour produire les consonnes cibles, simples ou géminées, sont initiés plus précocement durant la production de la voyelle précédente. Cette stratégie anticipatoire est encore plus précoce pour les géminées, comparées aux consonnes simples, en contextes apical et vélaire. Nous avons vu aussi, dans les contextes apical et vélaire, la mise en place d'une stratégie de coarticulation rétentrice au service de la réalisation de la gémination, afin de marquer le contraste temporelle entre les deux termes de l'opposition phonologique. Cette dernière conduite motrice n'est pas généralisable en contexte uvulaire.

Nous tâcherons, dans ce qui suit, de savoir si le voisement peut avoir quelques influences sur le contrôle spatiotemporel de la gémination, et cela à partir de l'examen de nos paramètres supraglottiques.

Le contrôle spatiotemporel de la gémination : les occlusives voisées

Nous poursuivons, dans ce contexte de voisement, l'examen de nos trois paramètres articulatoires qui se sont révélés pertinents dans l'opposition entre consonnes simples et consonnes géminées chez les occlusives non voisées. Nous nous focaliserons ici sur une analyse comparative, entre les non voisées et les voisées, en ce qui concerne les différences de contrôle spatiotemporel. Cette démarche évitera des redites lorsque nous observons des stratégies remarquablement comparables entre les deux contextes.

Le contexte alvéolaire /d/

La Figure 62 montre la trajectoire de nos trois paramètres articulatoires de prédilection, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ada/ (à gauche) et /adda/ (à droite) ; locuteur Kh. La trajectoire de ces trois paramètres, durant les configurations vocaliques et consonantiques VCV, est structurellement similaire entre la simple et la géminée, même si cette similarité est moins marquante ici, par rapport aux contextes non voisés. Ainsi, on voit aisément qu'au niveau du contrôle temporel, l'ouverture de la constriction indique un contact apical plus long pour la consonne géminée (images 681 à 684), par rapport à son homologue simple (images 220 et 221). Pour la géminée, l'aperture labiale a tendance à diminuer durant la production de la consonne, de voyelle-à-voyelle, accompagnant ainsi le contact lingual. En revanche, pour la simple, l'aperture labiale reste relativement stable de la voyelle à la consonne ; elle se réduit davantage dans la transition consonne-voyelle. Cette aperture labiale, réduite, dure plus longtemps pour la géminée (images 681 à 684) que pour la simple, chez qui aucune réduction de ce paramètre n'est décelable durant le contact (images 220 et 221). Nous savons maintenant que l'augmentation de la taille de la constriction au niveau de la cavité pharyngale, aussi bien pour la consonne simple que pour son homologue géminée, n'est pas forcément imputable au geste de protrusion de la langue, vers la partie frontale de la cavité buccale, dans la réalisation du contact apical. La taille de la cavité pharyngale est plus grande pour la géminée, comparée à la simple (une différence maximale de 3 mm). Cette augmentation de la taille de la cavité pharyngale persiste durant le contact alvéolaire, et se maintient plus longtemps pour la géminée, comparée à la consonne simple.

Tout comme dans le contexte non voisé, une observation du timing des gestes dans ce contexte /ada/ confirme l'anticipation des gestes linguaux et, à un degré moindre, du geste labial, pour la production de la consonne, dès les configurations du conduit vocal, associées à la voyelle /a/. Ce constat est plus visible dans le contexte géminé /adda/, où l'on peut voir en

effet que le déplacement de l'apex pour la réalisation du contact apical, ainsi que celui de la langue au niveau pharyngal sont tous entamés durant la réalisation de la voyelle /a/ précédente (image 679). Par rapport à la réduction de l'aperture labiale, celle-ci démarre certes de manière anticipatoire (image 680) mais cette réduction reste relativement faible. En ce qui concerne la simple /ada/ (Figure 62), seule l'anticipation du geste pour le contact alvéolaire se fait tôt, et de manière claire, dans les configurations vocaliques (image 219), le geste labial restant relativement stable.

Kh

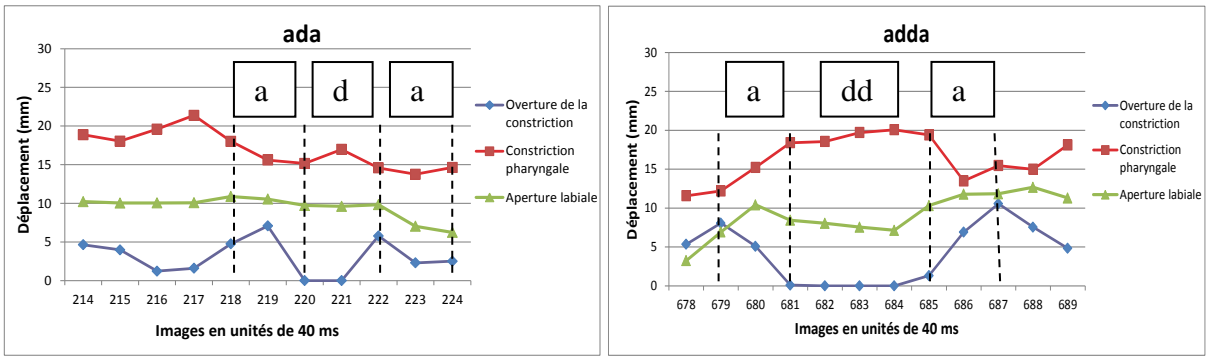


Figure 62 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ada/ (à gauche) et /adda/ (à droite) ; locuteur Kh

L'analyse des données du second locuteur F (Figure 63) indique que nous n'avions pas affaire à un comportement qui serait spécifique au locuteur précédent ; nous pouvons en effet observer des stratégies articulatoires similaires chez ce second locuteur. Il semble, néanmoins, que les stratégies anticipatoires de voyelles à consonnes soient déclenchées plus précocement chez ce locuteur F, et cela de façon synchrone : par ex. à l'image 259 pour la simple, de voyelle à consonne, et à l'image 715 pour la géminée, de voyelle à consonne.

F

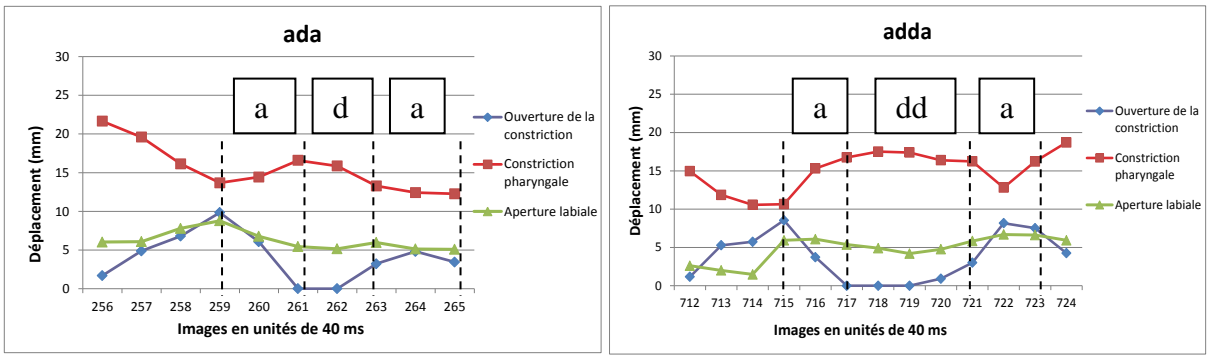


Figure 63 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ada/ (à gauche) et /adda/ (à droite) ; locuteur F

Le contexte vélaire /g/

L'étude du timing des gestes dans le contexte vélaire pour nos consonnes voisées confirme la tendance générale de l'évolution des trois paramètres, observée auparavant, dans les séquences VCV : une augmentation de la taille de la constriction pharyngale durant le contact, une réduction plus ou moins marquée de l'aperture labiale et l'émergence de gestes anticipatoires. Les gestes consonantiques sont anticipés dans les configurations du conduit vocal associées à la voyelle qui précède la consonne cible, et les gestes vocaliques pour la production de la voyelle suivant la consonne cible sont préparés durant la phase obstruante du conduit vocal. Les spécificités liées au locuteur (comparer Figure 64 et Figure 65) ne semblent pas être pertinentes en termes de contrôle moteur.

Kh

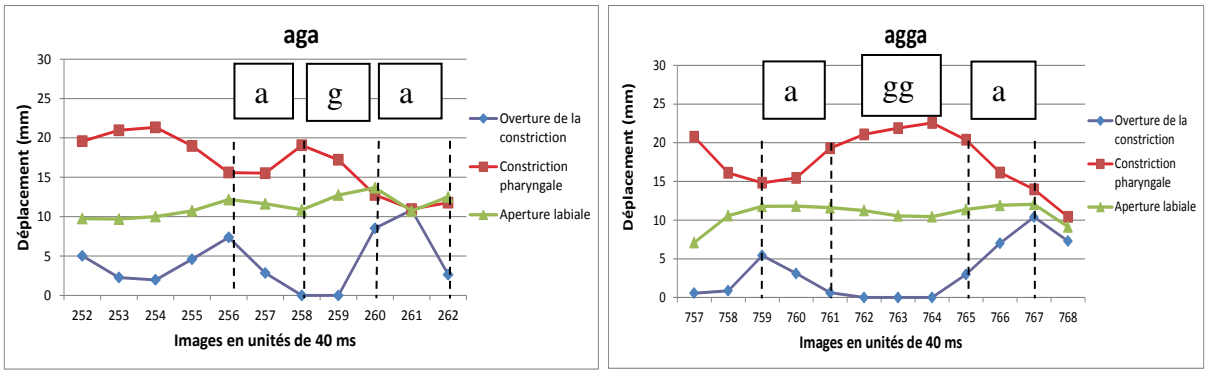


Figure 64 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aga/ (à gauche) et /agga/ (à droite) ; locuteur Kh

F

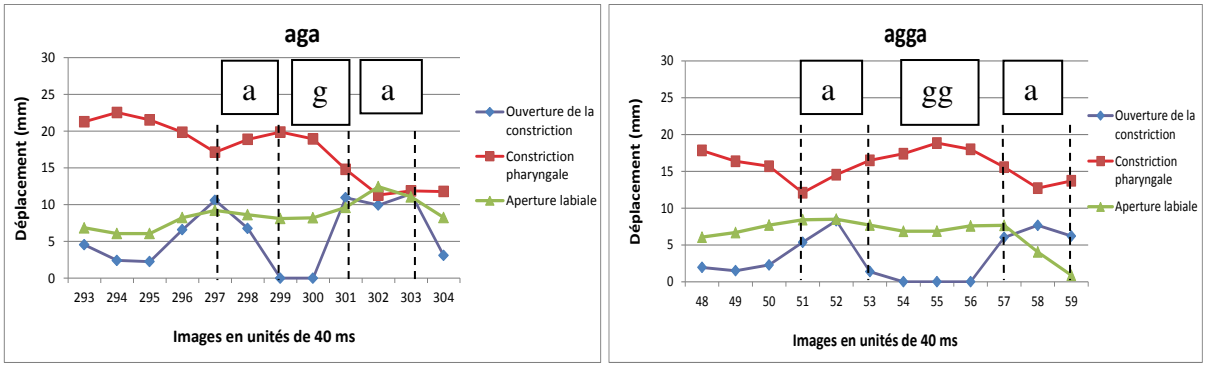


Figure 65 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aga/ (à gauche) et /agga/ (à droite) ; locuteur F

La trajectoire de nos trois paramètres articulatoires, dans les configurations vocaliques environnantes et les configurations consonantiques voisées cibles, est structurellement similaire entre la simple et la géminée, même si cette similarité est moins marquante ici, par rapport aux contextes non voisés, analysés *supra*.

Dans ce contexte voisé aussi, les « corrélations » entre les paramètres dans leurs trajectoires sont comparables à celles observées en contexte non voisé : lorsque l'apex ou le dos de la langue s'élèvent pour réaliser l'occlusion, la taille de la constriction au niveau pharyngale augmente, et l'aperture labiale diminue, accompagnant ainsi le geste de la langue pour la réalisation du contact. La diminution de l'aperture labiale dans le contexte vélaire est très peu marquée, une partie significative des gestes supraglottiques se produisant plutôt dans la partie arrière du conduit vocal, dans le contexte vélaire.

L'étude du timing des gestes nous révèle que le contact, nécessaire pour la réalisation de la consonne, est plus long pour les géminées que pour les simples. Les deux autres paramètres accompagnent le contact, avec un maintien d'une cavité pharyngale agrandie plus longtemps et d'une aperture labiale réduite également plus longtemps pour la géminée, comparée à la simple. Les gestes consonantiques sont anticipés dans les configurations du conduit vocal associées à la voyelle qui précède la consonne cible, et les gestes vocaliques pour la production de la voyelle suivant la consonne cible sont préparés durant la phase obstruante du conduit vocal. Les spécificités liées au locuteur ne semblent pas être pertinentes en termes de contrôle moteur.

Qu'en sera-t-il de la pertinence de nos trois paramètres articulatoires de prédilection pour caractériser l'opposition phonologique simples *vs.* géminées en contexte de consonnes constrictives ? Nous proposons d'examiner cela dans ce qui suit.

Le contrôle spatiotemporel de la gémination : les constrictives non voisées

Le contexte alvéolaire /s/

L'examen des trajectoires de nos trois paramètres articulatoires dans ce contexte alvéolaire /s/ *vs.* /ss/ révèle des comportements clairs et généralisables aux deux locuteurs (voir Figure 66 et Figure 67). La constriction maximale dure plus longtemps pour les géminées que pour les simples, et cela de façon remarquable (approximativement 5 à 6 images pour une géminée contre 3 images pour une simple). La diminution de l'aperture labiale durant le maintien de la constriction alvéolaire maximale dure, elle aussi, plus longtemps pour les géminées que pour les simples. L'agrandissement du pharynx lors de la

réalisation de la consonne, observé chez les occlusives, se confirme ici pour les constrictives, même si le constat est moins prononcé ici. On notera un comportement de non agrandissement du pharynx chez le locuteur F durant la production de la fricative simple (*cf.* Figure 67, à gauche). Les gestes anticipatoires sont plus nets lors des transitions de voyelles à consonnes que du contraire.

Kh

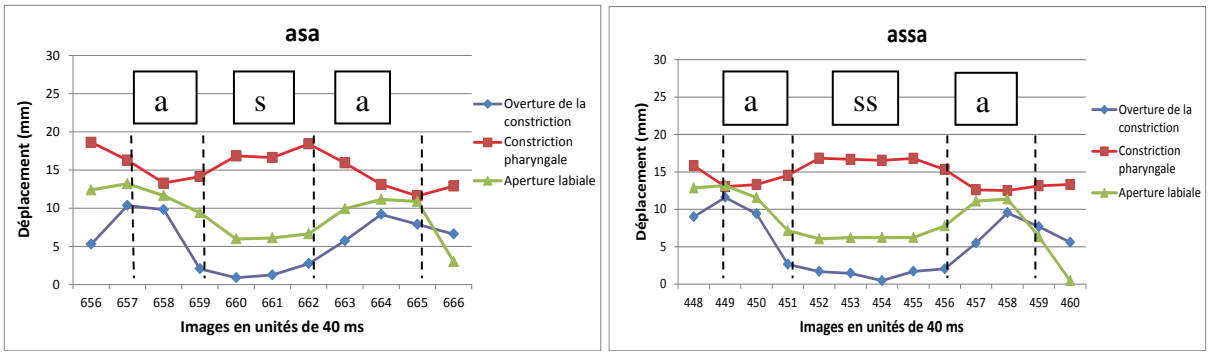


Figure 66 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /asa/ (à gauche) et /assa/ (à droite) ; locuteur Kh

F

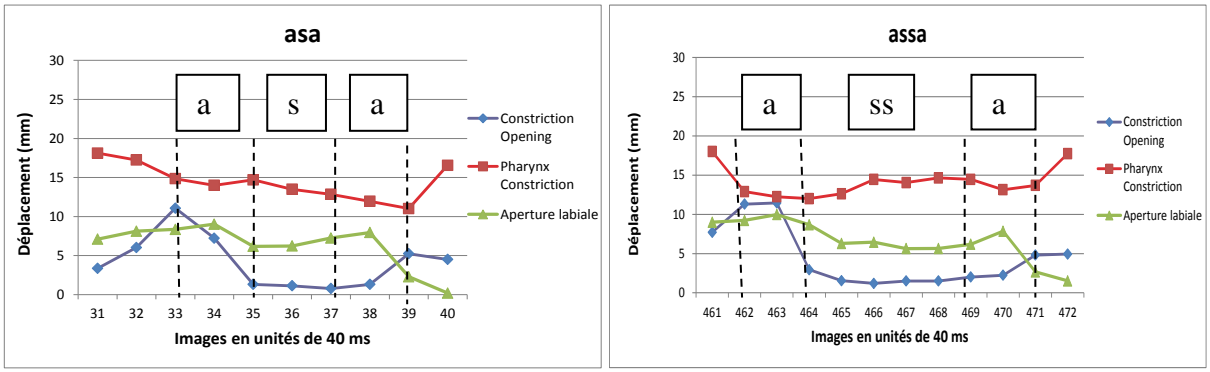


Figure 67 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /asa/ (à gauche) et /assa/ (à droite) ; locuteur F

Le contexte alvéolaire /ʃ/

Dans le contexte alvéolaire labialisé /ʃ/ *vs.* /ʃʃ/, les manœuvres les plus saillantes s'observent pour les géminées : elles consistent à maintenir relativement stable et plus longtemps les constrictions linguales (alvéolaire et pharyngale) et l'aperture labiale, et cela chez les deux locuteurs (voir Figure 68 et Figure 69), comparées à celles des simples. On notera, toutefois, que malgré cette tendance à une stabilité relative des trajectoires des paramètres pour les consonnes géminées, la taille du pharynx augmente légèrement durant la production de la consonne (sauf chez le locuteur F encore, durant la production de la fricative simple - *cf.* Figure 69, à gauche), alors que la constriction au niveau alvéolaire, elle, tend à

diminuer. Les gestes anticipatoires sont toujours plus nets lors des transitions de voyelles à consonnes que du contraire.

Kh

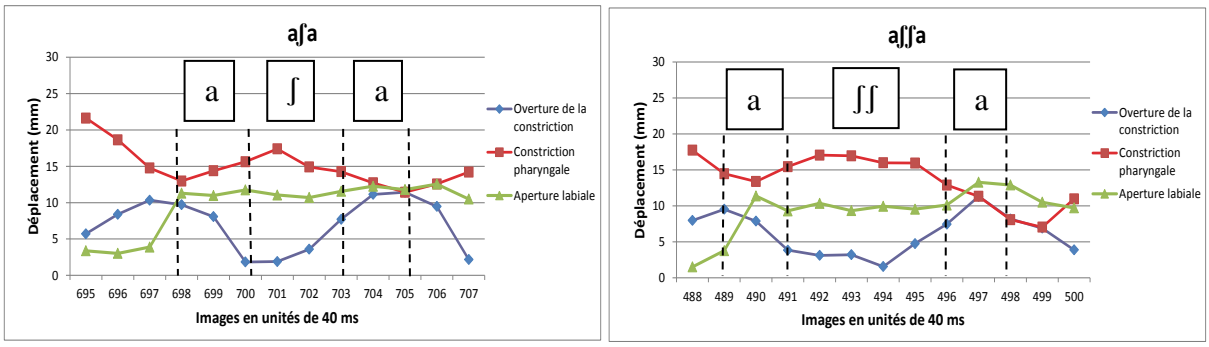


Figure 68 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aʃa/ (à gauche) et /aʃʃa/ (à droite) ; locuteur Kh

F

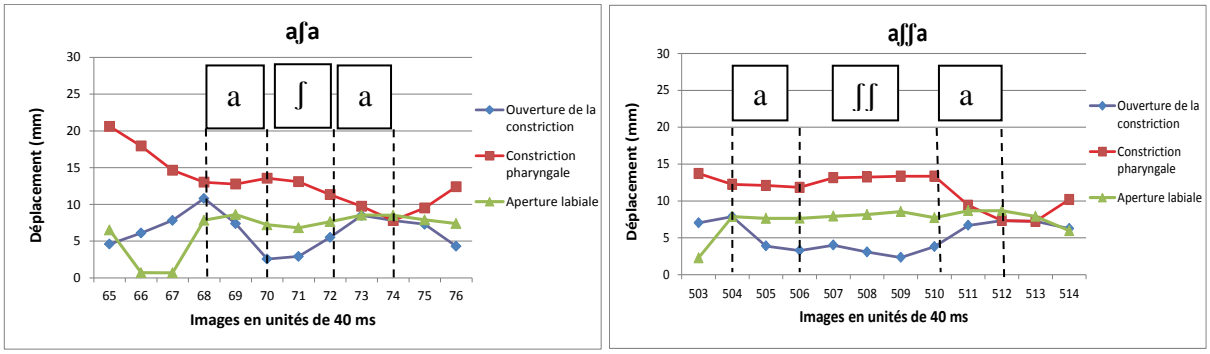


Figure 69 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aʃa/ (à gauche) et /aʃʃa/ (à droite) ; locuteur F

L'examen des trajectoires de nos trois paramètres articulatoires dans ces contextes alvéolaires /s/ *vs.* /ss/ et /ʃ/ *vs.* /ʃʃ/ révèle des comportements clairs et généralisables à ces alvéolaires.

Au niveau spatial, l'agrandissement du pharynx lors de la réalisation de la consonne, observé pour les occlusives, se confirme ici pour les constrictives, même si le constat est moins prononcé et moins systématique pour les consonnes simples. L'aperture labiale diminue ou reste stable en même temps que la réduction de la constriction alvéolaire.

Au niveau du timing des gestes, la constriction maximale dure plus longtemps pour les géminées que pour les simples, et cela de façon remarquable. La diminution de l'aperture labiale, durant le maintien de la constriction alvéolaire maximale dure, elle aussi, plus longtemps pour les géminées que pour les simples. Les gestes anticipatoires sont plus nets lors des transitions de voyelles à consonnes que des transitions des consonnes cibles aux voyelles suivantes. C'est grâce à ces stratégies de persévération des gestes associés aux configurations fermantes du conduit vocal pour les géminées que les différences temporelles entre consonnes simples et consonnes géminées sont maximisées.

Comme dans les contextes de consonnes occlusives examinées précédemment, il sera également question, ci-après, de savoir si le voisement peut avoir quelques influences sur le contrôle spatiotemporel supraglottique de la gémination.

Le contrôle spatiotemporel de la gémination : les constrictives voisées

Le contexte alvéolaire /z/

Dans ce contexte alvéolaire voisé (/z/ *vs.* /zz/), les gestes des articulateurs sont globalement comparables à ceux observés dans le contexte non voisé (/s/ *vs.* /ss/). En effet, si l'on compare Figure 66 et Figure 67 (ci-dessus) avec Figure 70 et Figure 71 (ci-dessous), on constate que les timing des articulateurs se ressemblent remarquablement, avec une tenue plus longue des gestes linguaux (alvéolaire et pharyngal) et labial durant la production de la géminée. En revanche, on ne note pas d'augmentation de la cavité pharyngale en passant de la voyelle à la consonne pour les simples et les géminées, sauf pour notre locuteur F pour qui, cette fois-ci, la taille de cette cavité augmente. Le contrôle de la constriction pharyngale ne semble pas être régulier chez ce dernier locuteur. En ce qui concerne les gestes anticipatoires, seul celui de la constriction alvéolaire semble se faire de manière consistante, se réduisant déjà dans les configurations vocaliques pour être au minimum lors de la production des

consonnes cibles. Cette réduction de la taille de la constriction alvéolaire est plus prononcée pour les simples que pour les géminées, et cela pour nos deux locuteurs.

Kh

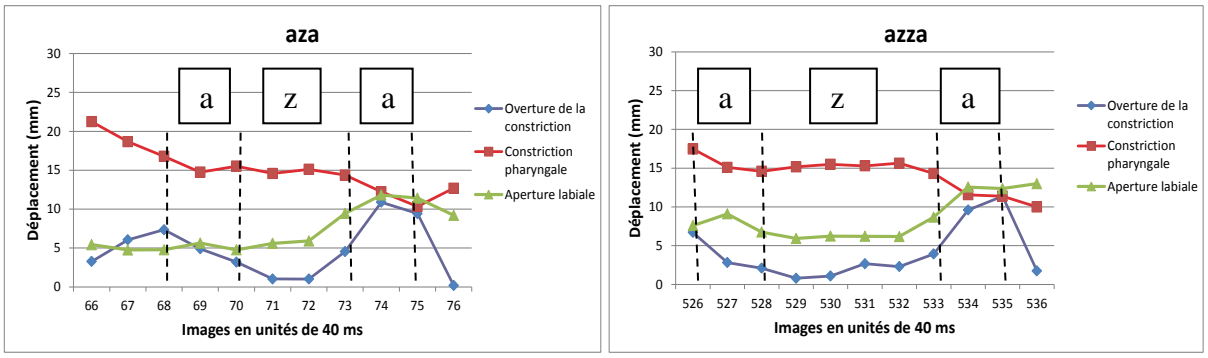


Figure 70 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aza/ (à gauche) et /azza/ (à droite) ; locuteur Kh

F

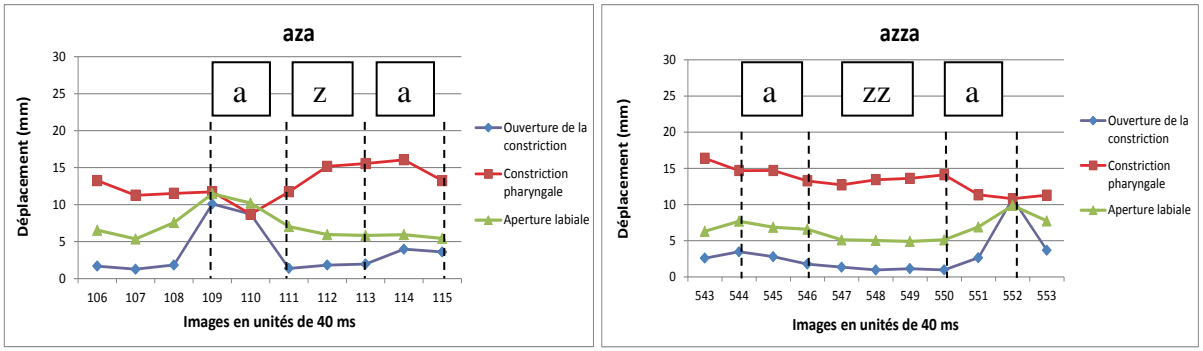


Figure 71 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aza/ (à gauche) et /azza/ (à droite) ; locuteur F

Le contexte alvéolaire /ʒ/

Dans ce contexte alvéolaire labialisé et voisé /ʒ/ *vs.* /ʒʒ/ (voir Figure 72 et Figure 73) les gestes qui sous-tendent l'opposition phonologique reposent, comme dans le contexte non voisé (voir Figure 68 et Figure 69) sur une constriction maintenue plus longuement pour les géminées que pour les simples. Il convient de signaler, toutefois, qu'en ce qui concerne l'ouverture de la constriction alvéolaire, elle est moins marquante pour l'opposition entre simple et géminée chez le locuteur Kh. La taille de l'aperture labiale est maintenue relativement stable et plus longuement pour les géminées. La taille de la cavité pharyngale a tendance à augmenter durant la production de la consonne cible, mais cela n'est pas systématique, puisque ce comportement n'a pas été observé pour la consonne géminée chez le locuteur F (voir Figure 73 à droite). Si l'on doit parler de gestes anticipatoires (de V à C), seul celui de la constriction alvéolaire est remarquable et généralisable aux deux catégories consonantiques et aux deux locuteurs.

Kh

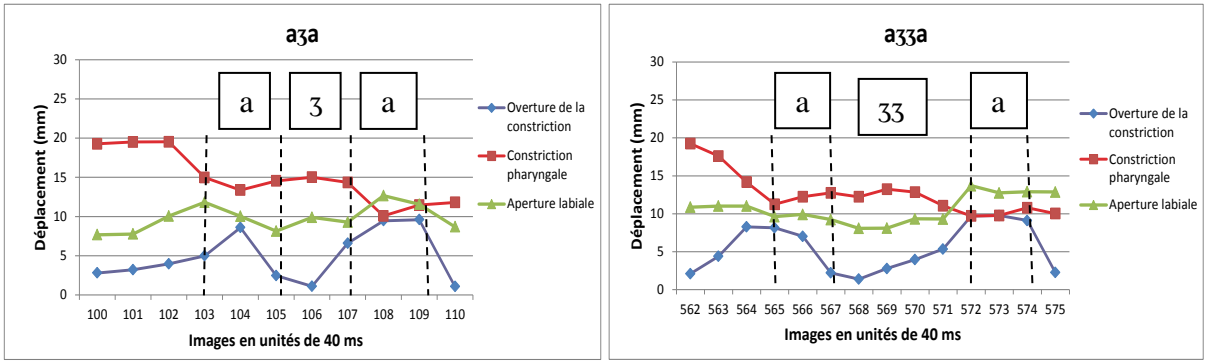


Figure 72 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /a3a/ (à gauche) et /a33a/ (à droite) ; locuteur Kh

F

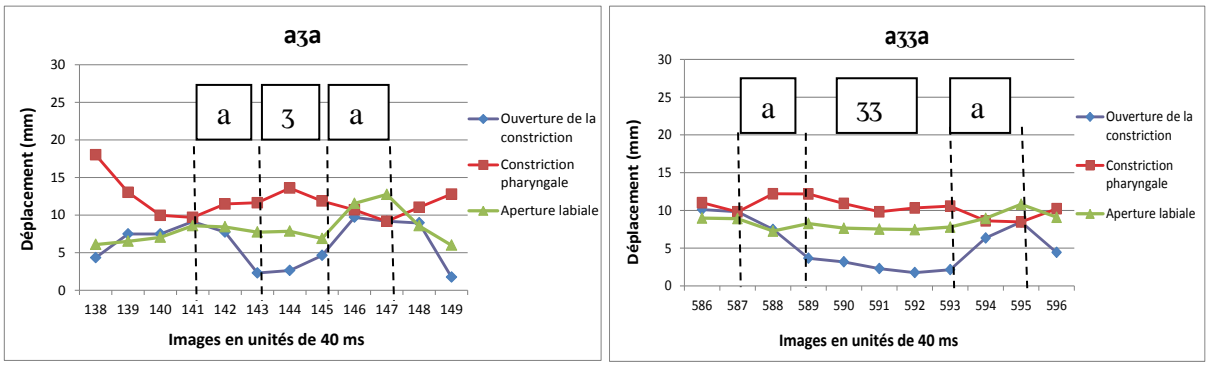


Figure 73 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /a3a/ (à gauche) et /a33a/ (à droite) ; locuteur F

Dans les contextes alvéolaires voisés /z/ *vs.* /zz/ et /ʒ/ *vs.* /ʒʒ/, c'est notamment au niveau du timing des gestes, qui sous-tendent l'opposition phonologique, que les comportements gestuels semblent être plus marquants, à savoir une constriction alvéolaire réduite, maintenue plus longuement pour les géminées que pour les simples. Il en va de même de la taille de l'aperture labiale, également réduite, qui est maintenue relativement stable et plus longuement pour les géminées, comparées aux simples. La taille de la cavité pharyngale, elle, même si elle a tendance à augmenter durant la production de la consonne cible, n'affiche pas de comportement systématique. En termes de gestes anticipatoires (de V à C), seul celui de la constriction alvéolaire est remarquable et généralisable aux deux catégories consonantiques et aux deux locuteurs. On ne voit pas de manière notoire une initiation précoce de ce geste anticipatoire pour les géminées, par rapport aux simples. En revanche les stratégies de préservation des gestes, associés aux configurations fermantes du conduit vocal chez les géminées, permettent, ici aussi, d'obtenir des différences temporelles plus nettes entre simples et géminées.

Qu'en sera-t-il de la robustesse de nos paramètres articulatoires qui se sont révélés pertinents dans l'émergence du contraste phonologique, en position initiale de mot ? Nous proposons d'apporter des éléments de réponse à cette question dans ce qui suit.

Le contrôle spatiotemporel de la gémination en contexte CV : les occlusives non voisées

Le contexte alvéolaire /t/

Rappelons que dans ce contexte CV, la voyelle précédente de la phrase porteuse est systématiquement le /i/. Les Figure 74 et Figure 75 montrent un contact plus long pour la géminée /tt/ par rapport à celui de la simple /t/. Ce contact est préparé durant la voyelle précédente aussi bien pour les simples que pour les géminées. L'aperture labiale ne semble pas adopter de comportement notoire, lors du passage de la voyelle à la consonne ; elle reste relativement stable (sauf pour une légère diminution remarquée chez le locuteur Kh, voir Figure 74). Une réduction anticipatoire de la taille de la constriction est déjà entamée dans les configurations associées à la consonne, pour préparer la voyelle /a/ suivante, cette dernière exigeant une constriction radico-pharyngale réduite. Ainsi, ce geste anticipatoire au niveau pharyngal démarre pendant la tenue de la consonne apicale. L'augmentation de la constriction alvéolaire se fait de manière remarquable dès le relâchement, avec un conduit vocal largement dégagé pour la production de cette voyelle ouverte.

Kh

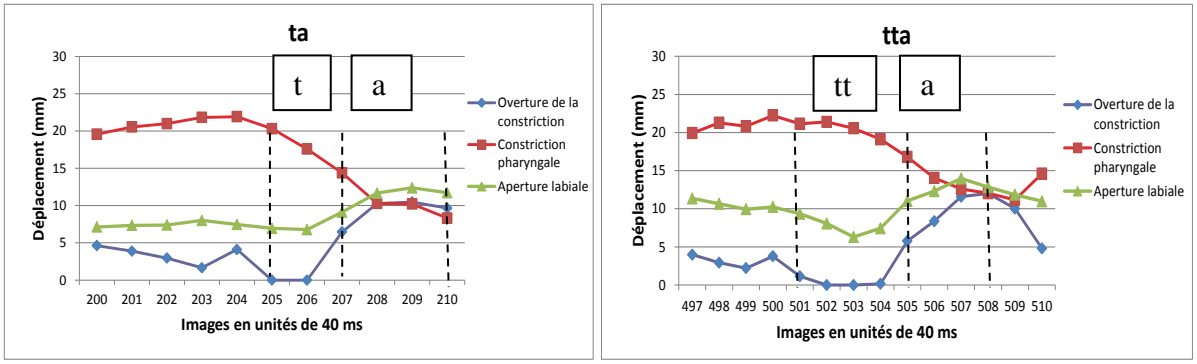


Figure 74 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ta/ (à gauche) et /tta/ (à droite) ; locuteur Kh

F

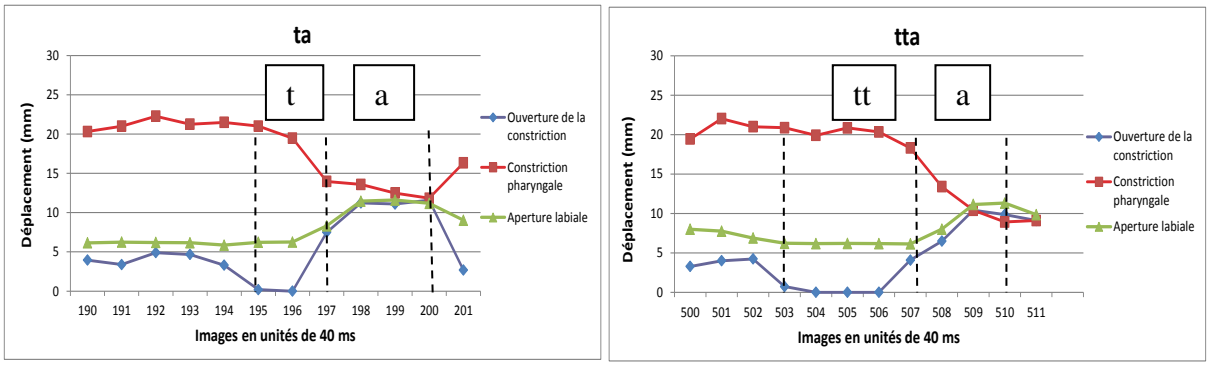


Figure 75 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ta/ (à gauche) et /tta/ (à droite) ; locuteur F

Le contexte vélaire /k/

Dans ce contexte vélaire, le contact dorso-vélaire est plus long pour les géminées que pour les simples, et cela pour nos deux locuteurs (Figure 76 et Figure 77). Ce contact se prépare déjà dans les configurations ouvrantes correspondant à la voyelle /i/ précédente, comme cela fut le cas dans le contexte apical. L'aperture labiale reste relativement stable lors du passage de la voyelle /i/ à la consonne, un comportement qui a été aussi remarqué dans le contexte apical. En revanche, la taille de la constriction pharyngale n'entame pas de diminution précoce de la consonne cible à la voyelle suivante /a/, étant donné la localisation postérieure du lieu d'articulation qui sollicite une intervention active du dos de la langue. Ce n'est qu'au relâchement, voire après celui-ci, que le geste de réduction de la constriction pharyngale pour la réalisation de la voyelle /a/, est déployé.

Kh

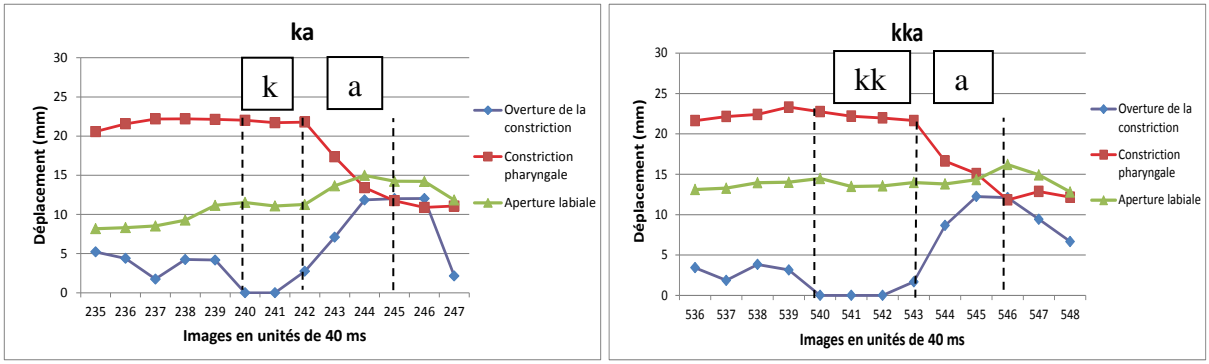


Figure 76 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ka/ (à gauche) et /kka/ (à droite) ; locuteur Kh

F

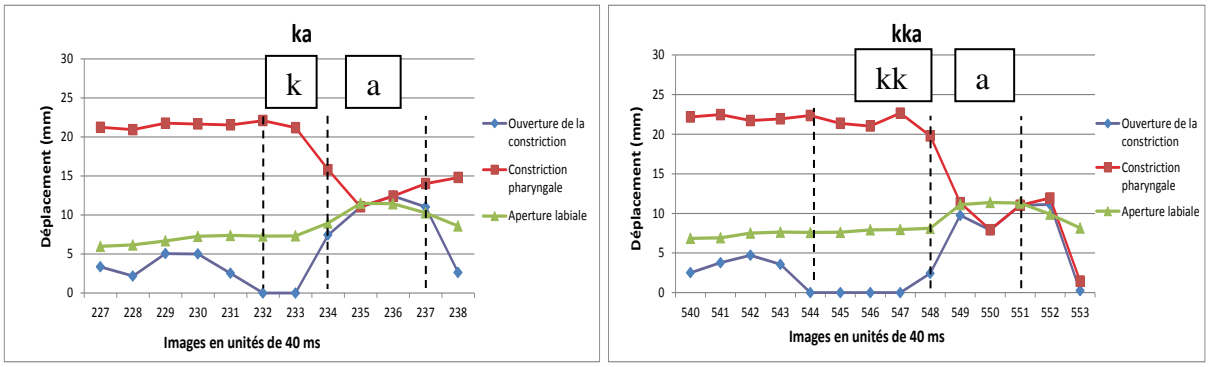


Figure 77 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ka/ (à gauche) et /kka/ (à droite) ; locuteur F

Le contexte uvulaire /q/

L'examen du timing des gestes dans ce contexte uvulaire révèle (Figure 78 et Figure 79) un contact dorso-uvulaire plus prolongé pour les géminées, comparées aux simples. Il est vrai que le suivi de ce contact, quoique visible sur les vues de profil (*cf.* Figure 134 et Figure 135), a été plus problématique dans ce contexte uvulaire. Cela explique l'absence de stabilité du paramètre « ouverture de la constriction » lors de la réalisation de la consonne, celui-ci montrant une augmentation, à notre avis erronée, dans les configurations cibles de la consonne, chez le locuteur Kh. Si l'aperture labiale reste relativement stable durant la séquence VCV, la constriction pharyngale, elle, est préparée durant le /i/, en se réduisant jusqu'à une valeur minimale durant la consonne dorso-uvulaire. Cette constriction augmente légèrement pour la réalisation du /a/ suivant chez Kh, ou reste stable en passant de la consonne géminée à la voyelle chez F.

Kh

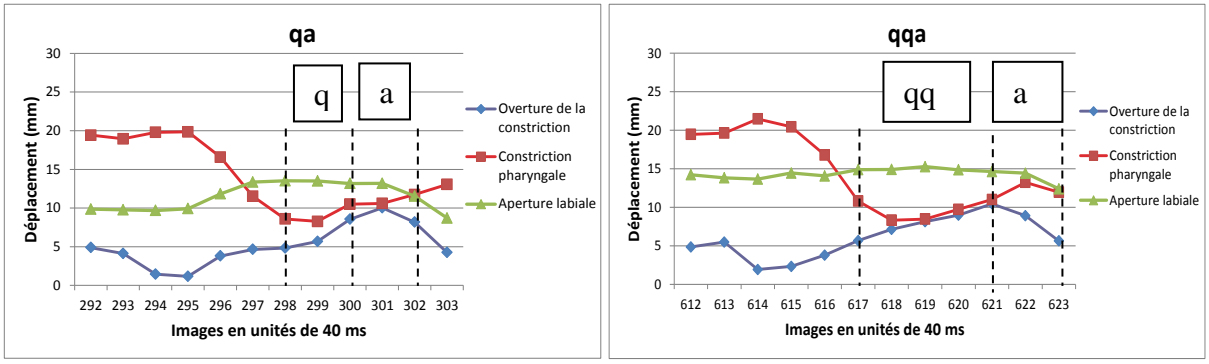


Figure 78 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /qa/ (à gauche) et /qqa/ (à droite) ; locuteur Kh

F

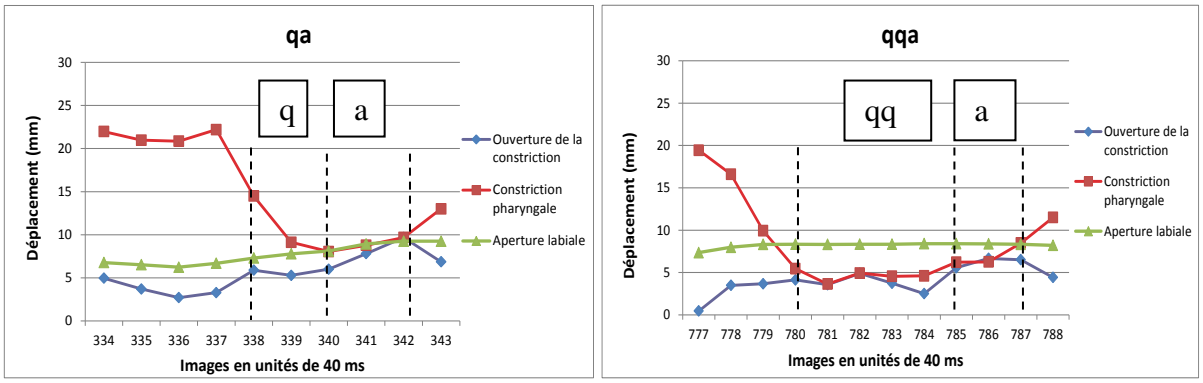


Figure 79 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /qa/ (à gauche) et /qqa/ (à droite) ; locuteur F

Les résultats sont plus clairs, en termes de timing, dans les contextes alvéolaire et vélaire, la phase obstruante étant plus longue pour les géminées que pour les simples. Ce constat est vrai aussi dans le contexte uvulaire, même si les données, en suivi de points, sont moins parlantes (*cf. supra*). Dans les deux contextes alvéolaire et vélaire, ce contact se prépare de manière anticipatoire, déjà dans les configurations ouvrantes correspondant à la voyelle /i/ précédente ; cela n'est pas le cas dans le contexte uvulaire. Si, dans le contexte apical, l'on observe une réduction anticipatoire de la taille de la constriction pharyngale, entamée déjà dans les configurations associées à la consonne, pour préparer la voyelle /a/ suivante, la réduction de cette constriction ne se fait, dans le contexte vélaire, qu'au relâchement, voire après celui-ci. La constriction pharyngale, dans le contexte uvulaire, est préparée durant le /i/, en se réduisant jusqu'à une valeur minimale durant la consonne dorso-uvulaire. Il semble donc que seul le lieu d'articulation dorso-vélaire du /k/ soit en conflit avec l'émergence d'une configuration réduite du /a/ suivant.

L'aperture labiale reste relativement stable lors du passage de la voyelle /i/ à la consonne, puis augmente pour réaliser le /a/, un comportement remarqué dans les contextes apical et vélaire. Une stabilité de la taille de l'aperture labiale est maintenue, dans le contexte /q/ de la voyelle /i/ à la voyelle /a/, en passant par la consonne. Nous tenterons de rationaliser l'ensemble de ces résultats dans la Synthèse Générale (Chapitre 13).

Le contrôle spatiotemporel de la gémination en contexte CV : les occlusives voisées

Les contextes alvéolaire et vélaire /d/ et /g/

Par rapport au contexte non voisé, le comportement spatiotemporel des occlusives voisées apicales et vélaires reste remarquablement similaire (comparer Figure 74 à Figure 77 *supra* avec Figure 80 à Figure 83 *infra*). Nous nous contenterons, en conséquence, de ne proposer qu'un bref résumé de ce comportement. Le contact est plus long pour les géminées par rapport à celui des simples. Ce contact est préparé durant la voyelle précédente. L'aperture reste relativement stable de la voyelle /i/ à la consonne. Une réduction anticipatoire de la taille de la constriction est déjà entamée dans les configurations associées à la consonne apicale, pour préparer la voyelle /a/ suivante, alors que cette réduction arrive plus tardivement dans le contexte vélaire. Ainsi, ce geste anticipatoire au niveau pharyngal démarre pendant la tenue de la consonne apicale. L'augmentation de la taille des constrictions alvéolaires et vélaires est notoire dès le relâchement de ces occlusives, afin de préparer un conduit vocal suffisamment grand pour la production de la voyelle ouverte /a/.

Kh

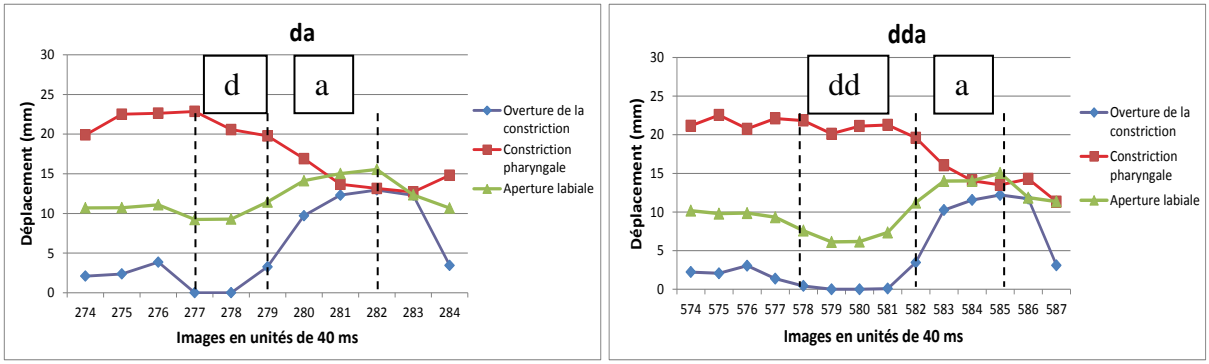


Figure 80 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /da/ (à gauche) et /dda/ (à droite) ; locuteur Kh

F

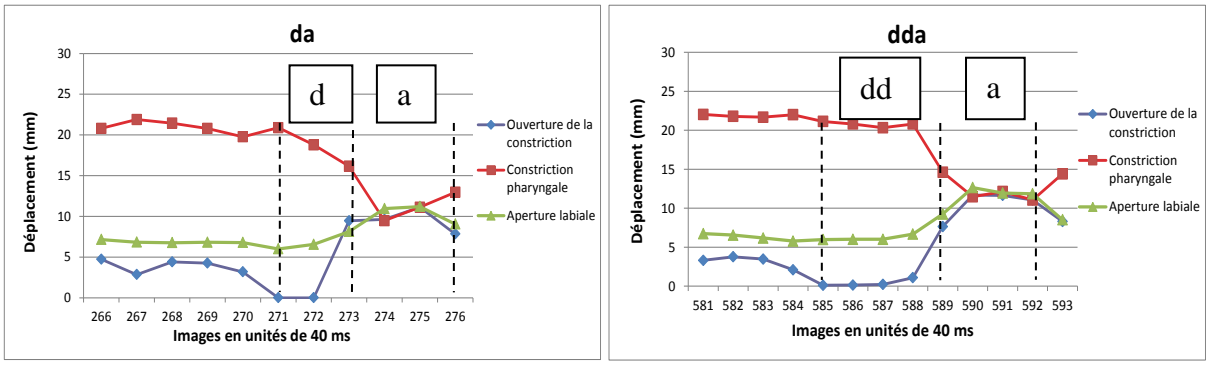


Figure 81 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /da/ (à gauche) et /dda/ (à droite) ; locuteur F

Kh

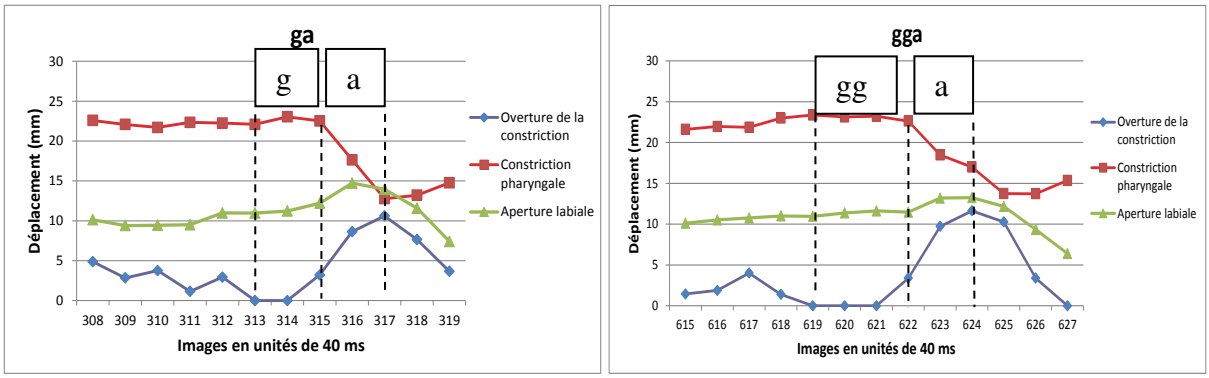


Figure 82 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ga/ (à gauche) et /gga/ (à droite) ; locuteur Kh

F

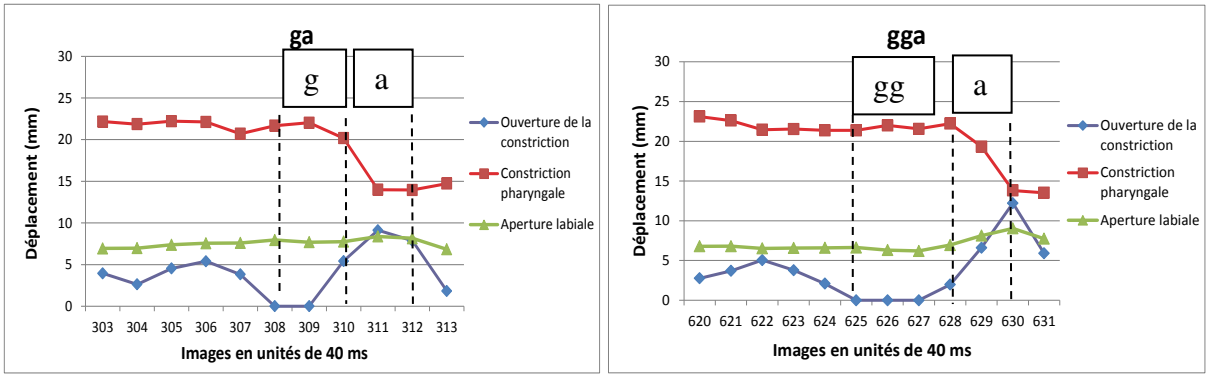


Figure 83 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ga/ (à gauche) et /gga/ (à droite) ; locuteur F

Par rapport au contexte non voisé, le comportement spatiotemporel des occlusives voisées apicales et vélaires reste remarquablement similaire (*cf.* résumé *supra*). En ce qui concerne le contexte non voisé, on constate une augmentation de la taille des constrictions alvéolaires et vélaires plus notoire, dès le relâchement de ces occlusives, afin de préparer un conduit vocal suffisamment dégagé pour permettre l'émergence de la voyelle grande ouverte /a/.

Nous suggérons à présent d'examiner le cas du contrôle spatiotemporel de la gémination chez les constrictives non voisées.

Le contrôle spatiotemporel de la gémination en contexte CV : les constrictives non voisées

Le contexte alvéolaire /s/

Les deux locuteurs adoptent des stratégies spatiotemporelles comparables pour distinguer les deux classes phonologiques (Figure 84 et Figure 85). En substance, la tenue de l'ouverture de la constriction est plus longue pour les géminées. L'aperture labiale, réduite pour le /i/, est ainsi maintenue durant le /s/, puis augmente pour produire le /a/ suivant, cette augmentation étant plus clairement anticipatoire dans le contexte de la consonne simple, par rapport à la géminée. On note, toutefois, que le locuteur F adopte, lui, une stratégie anticipatoire en démarrant la diminution de la taille de la cavité pharyngale dans les configurations du /i/, ce qui n'est pas le cas chez Kh. Cette réduction de la constriction pharyngale qui, au plus tard, commence durant la production de la consonne cible pour les deux locuteurs et dans les deux contextes phonologiques est, selon nous, à lier avec la préparation du /a/ suivant.

Kh

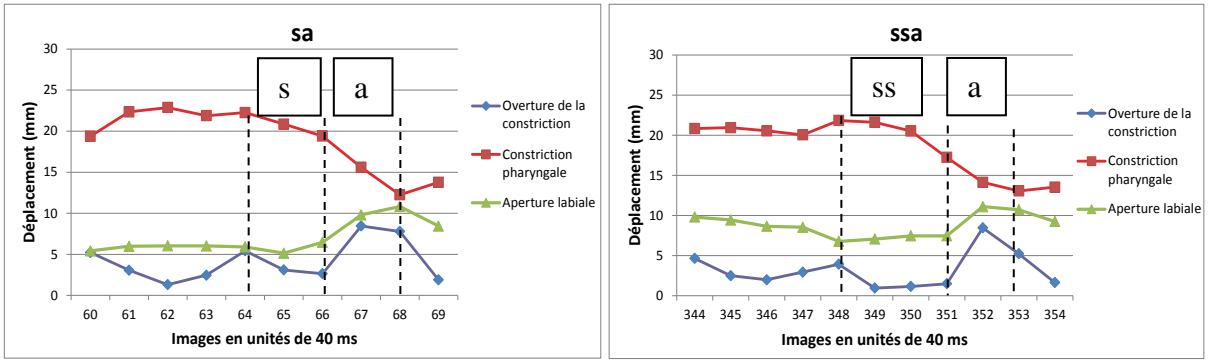


Figure 84 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /sa/ (à gauche) et /ssa/ (à droite) ; locuteur Kh

F

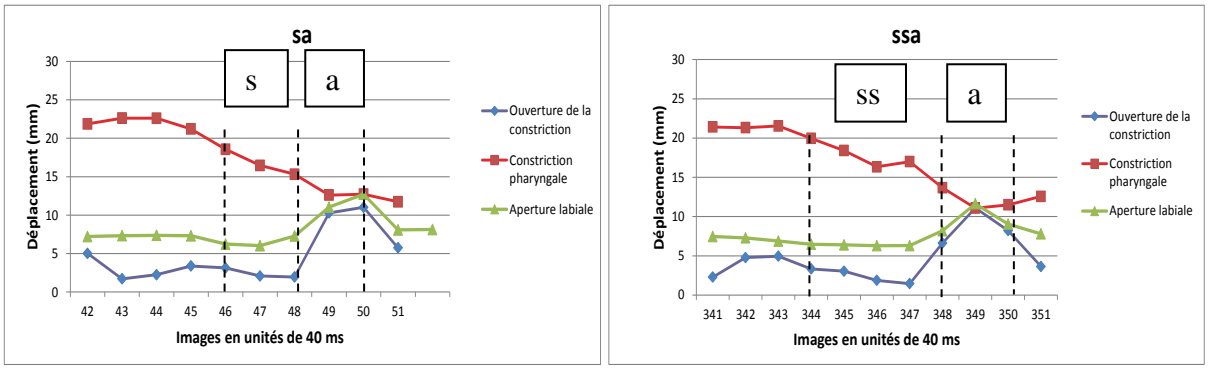


Figure 85 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /sa/ (à gauche) et /ssa/ (à droite) ; locuteur F

Le contexte alvéolaire /ʃ/

Dans ce contexte labialisé et non voisé /ʃ/, le paramètre articulatoire de prédilection pour opposer les deux catégories phonologiques, à savoir l'ouverture de la constriction au niveau alvéolaire, reste relativement stable à une valeur minimale et dure plus longtemps pour les géminées par rapport aux simples, et cela pour nos deux locuteurs (Figure 86 et Figure 87). Cette ouverture minimale est à appréhender par rapport à la valeur atteinte pour le /a/ suivant, bien entendu, où elle devient remarquablement grande. Comme dans les contextes précédents, la taille réduite de l'aperture labiale accompagne celle de l'ouverture de la constriction ; elle est maintenue plus longuement, ici aussi, pour les géminées, comparées à leurs homologues simples.

Kh

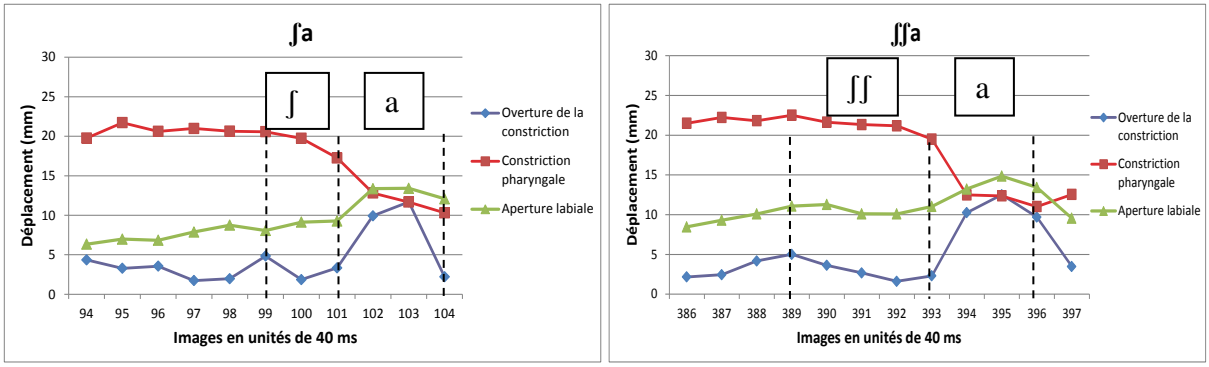


Figure 86 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ʃa/ (à gauche) et /ʃʃa/ (à droite) ; locuteur Kh

F

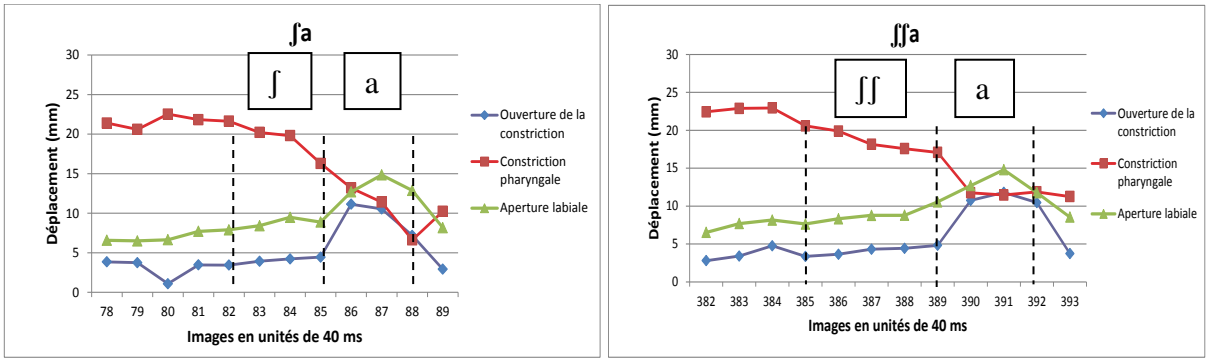


Figure 87 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ʃa/ (à gauche) et /ʃʃa/ (à droite) ; locuteur F

Dans ces contextes de consonnes constrictives non voisées, le paramètre articulatoire de prédilection pour opposer les deux catégories phonologiques, à savoir l'ouverture de la constriction au niveau alvéolaire, reste relativement stable à une valeur minimale et dure plus longtemps pour les géminées par rapport aux simples. La taille réduite de l'aperture labiale accompagne celle de l'ouverture de la constriction ; elle est maintenue plus longuement (une stratégie de rétention) pour les géminées, comparées à leurs homologues simples. Soulignons aussi une réduction de la constriction pharyngale qui commence durant la production de la consonne cible, voire avant pour un des deux locuteurs ; une réduction précoce qui serait à lier avec la préparation du /a/ suivant.

Est-ce que l'introduction du trait de voisement pourrait modifier le contrôle spatiotemporel des gestes articulatoires des constrictives simples *vs.* géminées ? Une réponse à cette question pourrait se trouver dans l'observation des données ci-après.

Le contrôle spatiotemporel de la gémination en contexte CV : les constrictives voisées

Les contextes alvéolaires /z/ et /ʒ/

Par rapport au contexte non voisé analysé précédemment, nous constatons que le contrôle spatiotemporel des trois paramètres articulatoires, dans ce contexte voisé, est notoirement similaire (comparer les Figure 84 à Figure 87 *supra* avec les Figure 88 à Figure 91 *infra*). En quelques termes, nous dirions que le timing des gestes de l'ouverture de la constriction et de l'aperture labiale révèle une tenue plus longue pour les géminées. La réduction anticipatoire de la taille de la constriction pharyngale pour produire le /a/ suivant est aussi une constante dans les deux contextes et chez nos deux locuteurs ; cette réduction anticipatoire peut soit démarrer dans les configurations du conduit vocal associées au /i/, soit dans celles associées à la consonne alvéolaire cible. Le contraste de voisement ne semble pas, en conséquence, influencer le contrôle spatiotemporel de ces gestes dans la réalisation de la gémination.

Kh

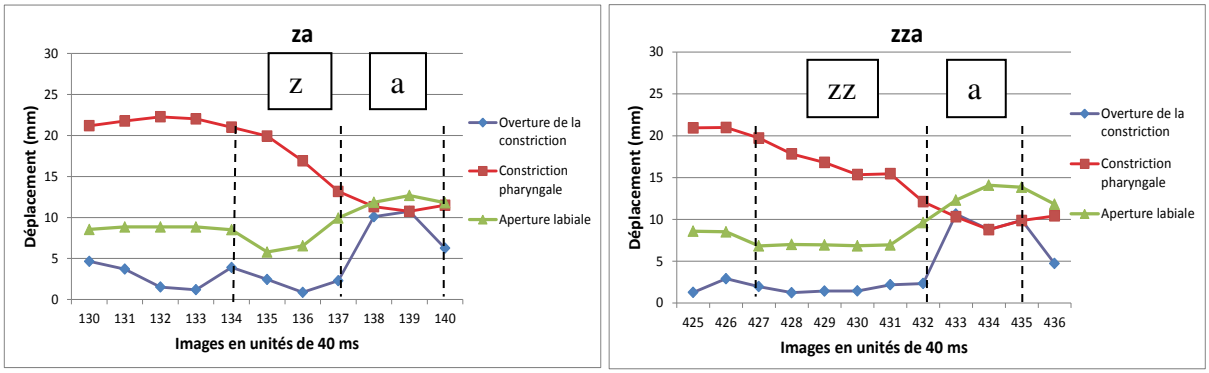


Figure 88 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /za/ (à gauche) et /zza/ (à droite) ; locuteur Kh

F

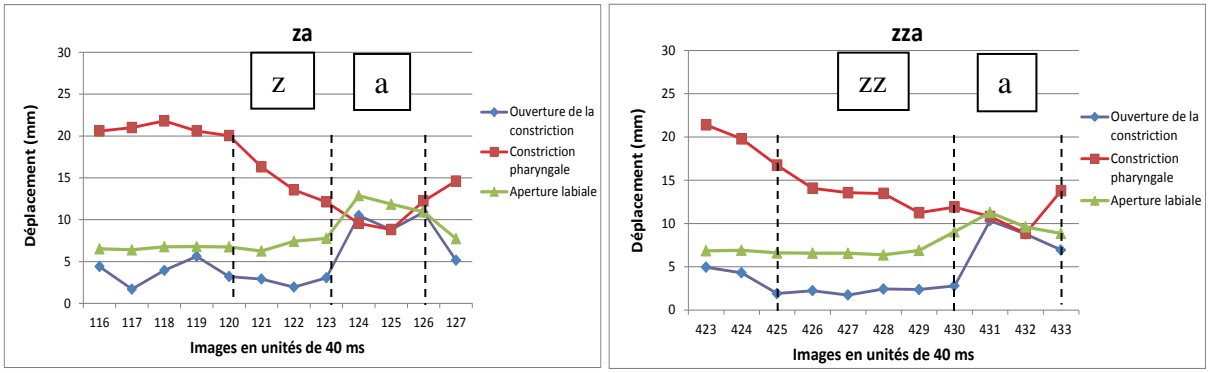


Figure 89 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /za/ (à gauche) et /zza/ (à droite) ; locuteur F

Kh

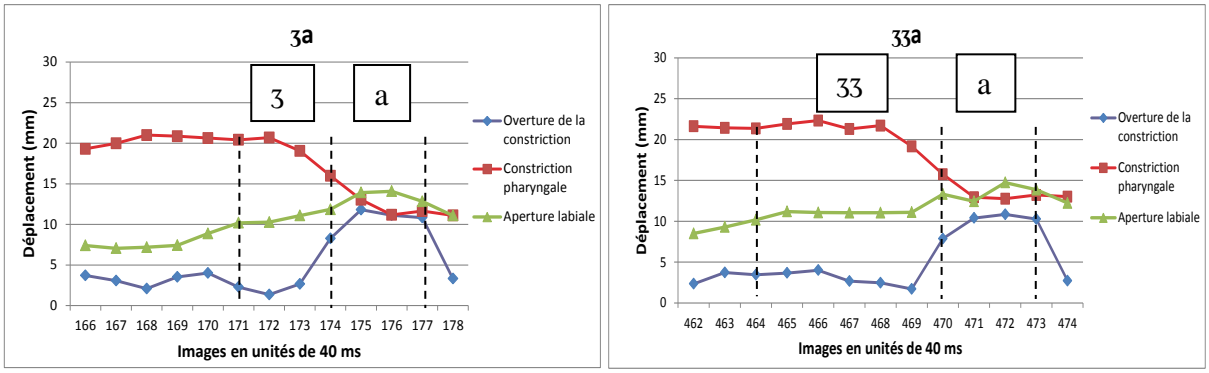


Figure 90 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ʒa/ (à gauche) et /ʒʒa/ (à droite) ; locuteur Kh

F

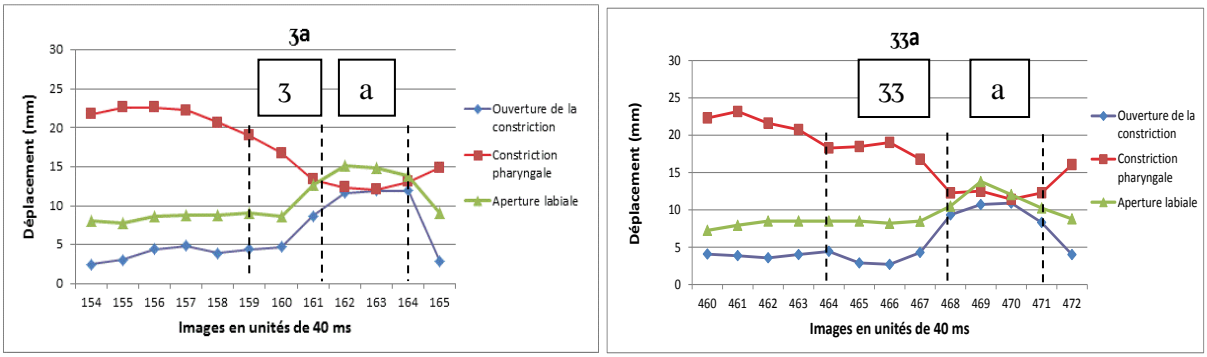


Figure 91 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ʒa/ (à gauche) et /ʒʒa/ (à droite) ; locuteur F

Le contrôle spatiotemporel de nos trois paramètres articulatoires, dans ces contextes voisés, est notoirement similaire. En effet, le timing des gestes de l'ouverture de la constriction et de l'aperture labiale révèle une tenue plus longue pour les géminées. La réduction anticipatoire de la taille de la constriction pharyngale pour produire le /a/ suivant est aussi une constante dans les deux contextes et chez nos deux locuteurs.
Qu'en sera-t-il du comportement de ces paramètres articulatoires en position finale de mot ? C'est ce que nous allons découvrir *infra*.

Le contrôle spatiotemporel de la gémination en contexte VC : les occlusives non voisées

***Le contexte* alvéolaire /t/**

Les Figure 92 et Figure 93 indiquent un contact apical plus long pour les géminées (ouverture de la constriction à 0 mm), et cela pour les deux locuteurs. De la voyelle /a/ à la consonne cible, la taille de l'aperture labiale diminue, alors que celle de la constriction pharyngale augmente. Le timing de ces deux gestes est relativement plus stable et plus longue pour les géminées par rapport aux simples. Le geste labial et les gestes linguaux pour réaliser les consonnes cibles sont tous initiés de manière anticipatoire dans les configurations liées au /a/.

Kh

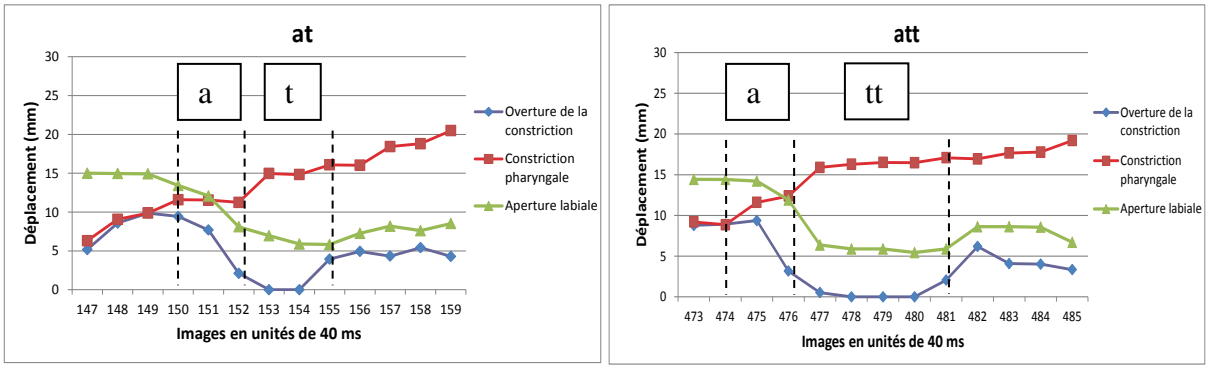


Figure 92 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /at/ (à gauche) et /att/ (à droite) ; locuteur Kh

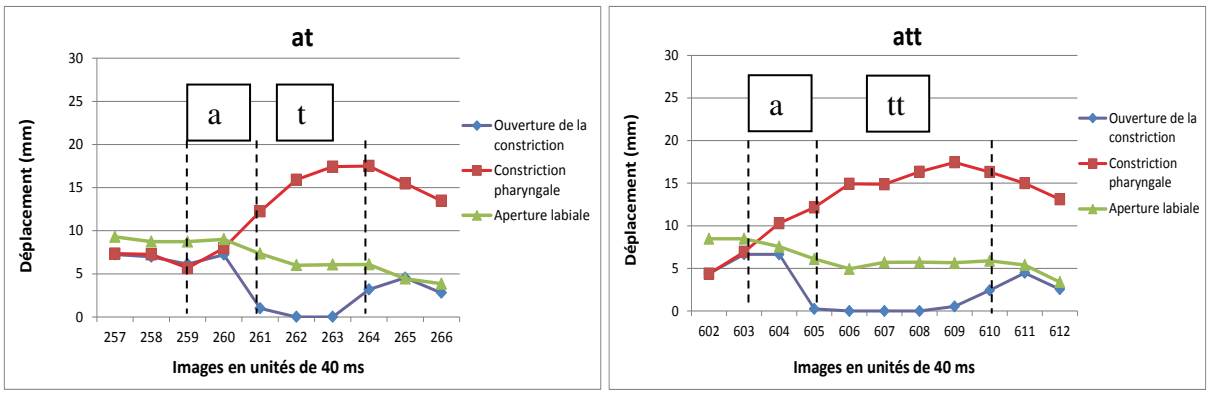


Figure 93 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /at/ (à gauche) et /att/ (à droite) ; locuteur F

Le contexte vélaire /k/

Dans ce contexte vélaire, le contrôle spatiotemporel observé pour le contexte apical précédent reste semblable ici aussi. Ainsi, nous pouvons voir dans les Figure 94 et Figure 95 que le contact vélaire reste plus long pour les géminées (ouverture de la constriction à 0 mm), chez les deux locuteurs. En revanche, si la taille de la constriction pharyngale augmente lors de la transition de la voyelle /a/ à la production de la consonne vélaire, celle de l'aperture labiale, elle, reste relativement stable du passage de la voyelle à la consonne. Encore une fois, nous pouvons constater que le geste labial et les gestes linguaux pour réaliser les consonnes cibles sont tous initiés de manière anticipatoire dans les configurations liées au /a/.

Kh

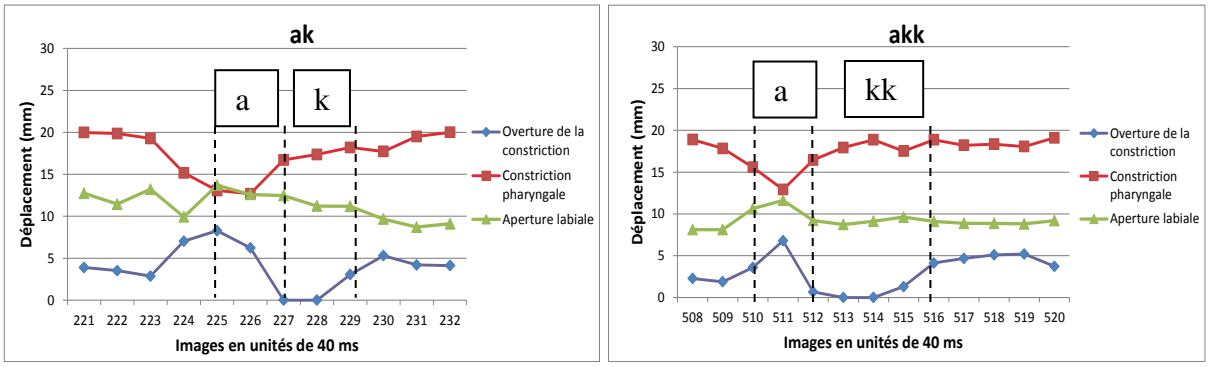


Figure 94 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ak/ (à gauche) et /akk/ (à droite) ; locuteur Kh

F

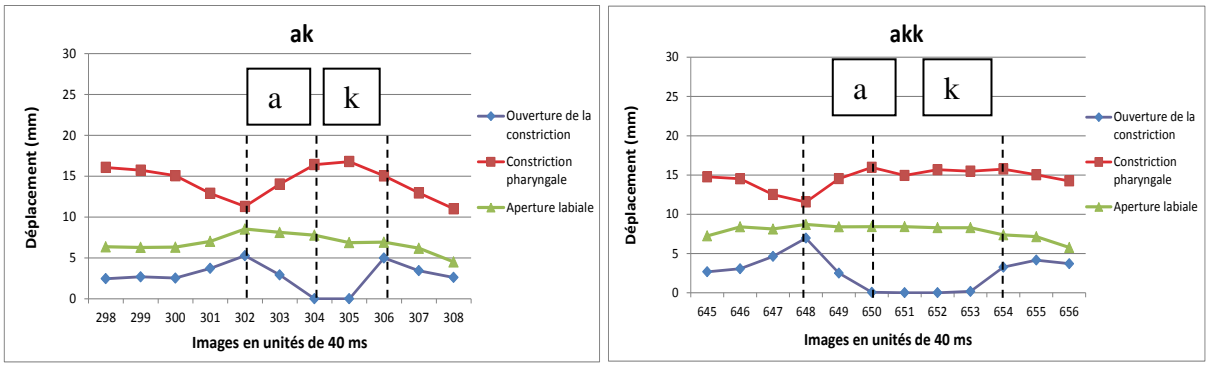


Figure 95 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ak/ (à gauche) et /akk/ (à droite) ; locuteur F

Le contexte uvulaire /q/

Les trajectoires des gestes labial (aperture labiale) et linguaux (ouverture de la constriction et constriction pharyngale) sont, à première vue, quelque peu « chaotiques » dans ce contexte uvulaire. Néanmoins, le contrôle spatiotemporel du geste lingual pour l'ouverture de la constriction dans la région uvulaire montre une réduction anticipatoire de cette constriction, des configurations associées à la voyelle /a/ jusqu'à celles liées à la production de la consonne. Rappelons que les vues de profil indiquent un contact dans tous les cas de figure, même si la détection quasi-automatique de ce contact fut problématique (*cf.* Chapitre 7). L'ouverture minimale de cette constriction dure plus longtemps pour les géminées que pour les simples. Notons toutefois que cette ouverture minimale de la constriction reste peu stable, même chez les géminées. L'aperture labiale se réduit avec la diminution de l'ouverture de la constriction uvulaire, durant la réalisation de la consonne, alors que la taille de la constriction pharyngale, elle, augmente pendant la production de cette consonne uvulaire, peut-être sous l'influence de la voyelle antérieure /i/ de la phrase porteuse à venir (mais *cf.* un comportement irrégulier chez F pour la consonne simple, Figure 97, à gauche).

Kh

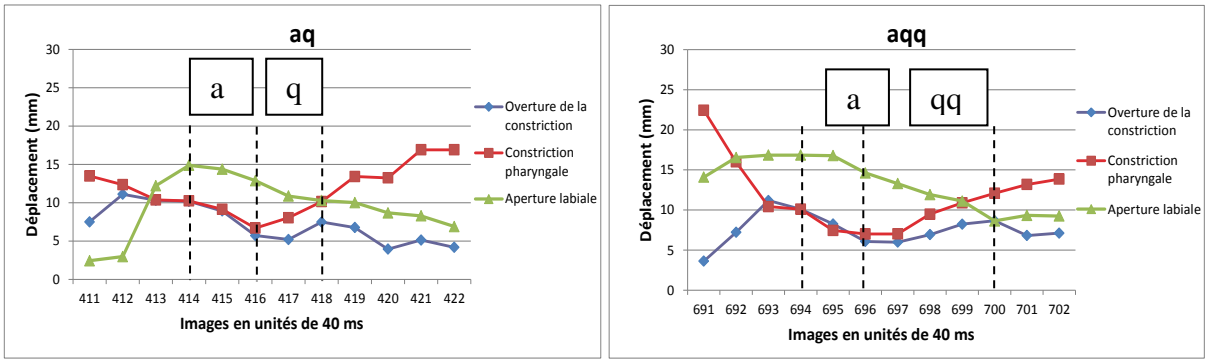


Figure 96 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aq/ (à gauche) et /aqq/ (à droite) ; locuteur Kh

F

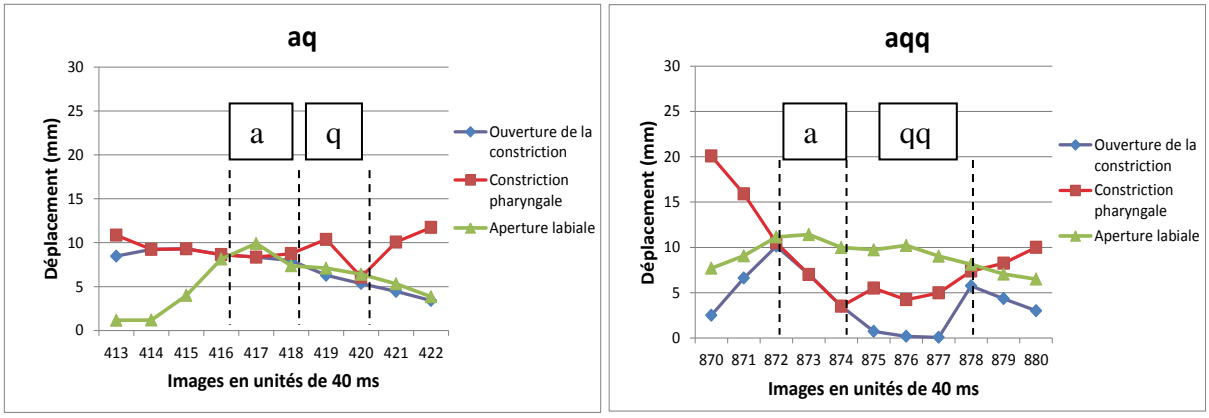


Figure 97 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aq/ (à gauche) et /aqq/ (à droite) ; locuteur F

Les observations robustes qui se dégagent ici sont les suivantes : les contacts alvéolaire et vélaire sont plus longs pour les géminées (ouverture de la constriction à 0 mm), chez les deux locuteurs. Pour ces deux consonnes, si la taille de la constriction pharyngale augmente lors de la transition de la voyelle /a/ à la production de la consonne vélaire, celle de l'aperture labiale, elle, reste relativement stable du passage de la voyelle à la consonne. Toujours pour ces deux occlusives (alvéolaire et vélaire), nous constatons que le geste labial et les gestes linguaux pour réaliser les consonnes cibles sont tous initiés de manière anticipatoire dans les configurations liées au /a/. La situation est différente dans le contexte uvulaire /q/. L'anticipation des gestes linguaux et du geste labial se fait, certes, mais de manière peu remarquable et a tendance à démarrer plutôt vers les dernières configurations ouvrantes de la voyelle /a/ qui précède cette consonne. Toujours pour ce que concerne le /q/, l'ouverture minimale de la constriction (contact), peu stable, dure plus longtemps pour les géminées que pour les simples. L'aperture labiale se réduit avec la diminution de l'ouverture de la constriction uvulaire, durant la réalisation de la consonne, alors que la taille de la constriction pharyngale, elle, augmente pendant la production de cette consonne uvulaire.

Nous proposons d'examiner, ci-après, le contrôle spatiotemporel de la gémination dans ce contexte VC, les occlusives étant voisées cette fois-ci.

Le contrôle spatiotemporel de la gémination en contexte VC : les occlusives voisées

Le contexte alvéolaire /d/

Les contraintes spatiotemporelles sont similaires à celles observées dans le contexte non voisé. En d'autres termes, l'activation du canal de voisement ne provoque pas de changements remarquables au niveau du timing des gestes ou de leur amplitude. Il semble néanmoins que le contact alvéolaire est plus long pour les non voisées comparées aux voisées, même si, rappelons-le, le critère *ceteris paribus* n'est pas assuré ici (comparer les Figure 92 et Figure 93 avec les Figure 98 et Figure 99). Cette différence de durée au niveau des contacts est plus nette pour les géminées. Nous retrouvons ici aussi les résultats récurrents dans l'opposition des simples aux géminées à savoir : un contact alvéolaire plus long pour les géminées, et cela pour les deux locuteurs ; une réduction de la taille de l'aperture labiale en allant de la voyelle /a/ à la consonne cible, alors que celle de la constriction pharyngale augmente ; un timing de ces deux gestes relativement plus stable et qui se maintient plus longtemps chez les géminées par rapport aux simples ; une initiation anticipatoire du geste labial et des gestes linguaux pour réaliser les consonnes cibles.

Kh

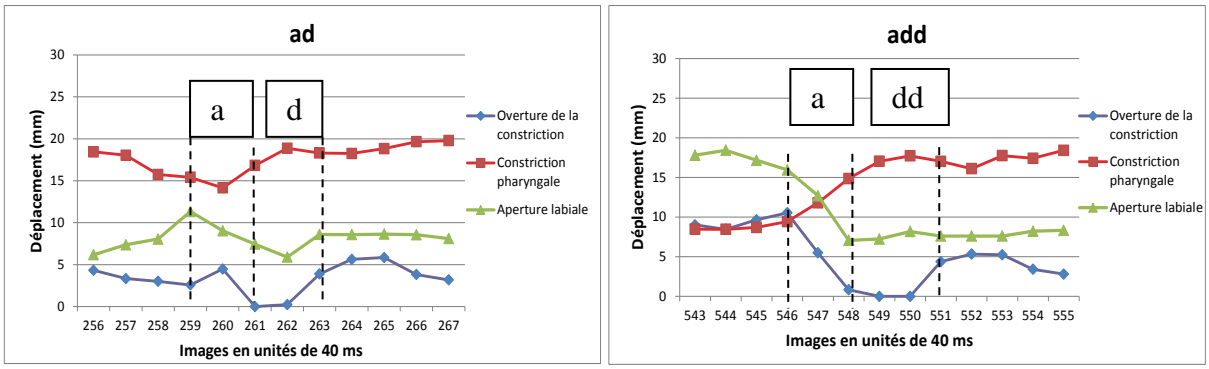


Figure 98 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ad/ (à gauche) et /add/ (à droite) ; locuteur Kh

F

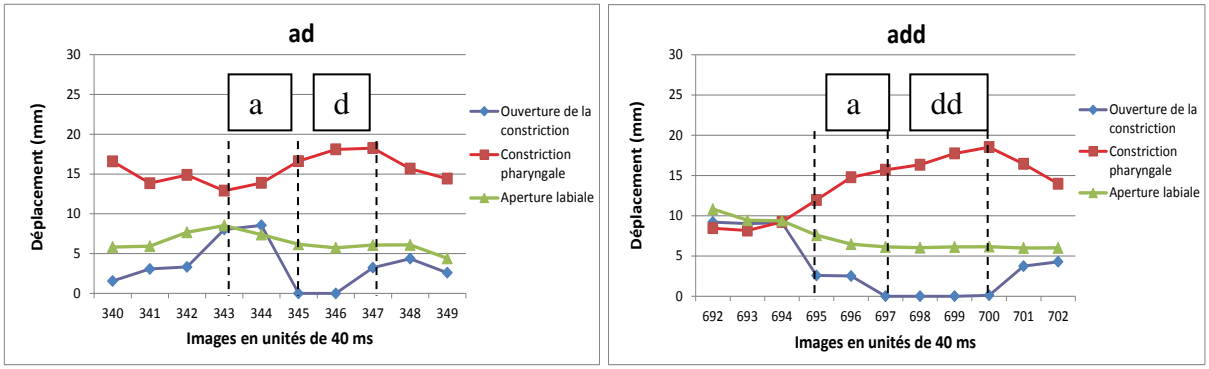


Figure 99 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ad/ (à gauche) et /add/ (à droite) ; locuteur F

Le contexte vélaire /g/

Dans ce contexte vélaire voisé, le contrôle spatiotemporel ressemble à celui observé dans le contexte vélaire non voisé, confirmant les observations que nous avions faites dans le contexte apical précédent. En revanche, le contact vélaire n'est pas plus long pour les non voisées par rapport aux voisées (comparer les Figure 94 et Figure 95 avec les Figure 100 et Figure 101). L'on peut difficilement, dans ces conditions, parler de différences du timing de l'occlusion qui serait lié au contraste de voisement. Notre résultat robuste est valable dans ce contexte vélaire aussi : le contact vélaire est plus long pour les géminées (ouverture de la constriction à 0 mm), chez les deux locuteurs. L'on confirme aussi le fait que si la taille de la constriction pharyngale augmente lors de la réalisation de la voyelle /a/ à celle de la consonne vélaire, celle de l'aperture labiale, elle, reste relativement stable du passage de la voyelle à la consonne (sauf pour Kh, Figure 100, à droite). Au vu de nos données, nous pouvons confirmer que le geste labial et les gestes linguaux pour réaliser les consonnes vélaires cibles sont tous initiés de manière anticipatoire dans les configurations liées au /a/.

Kh

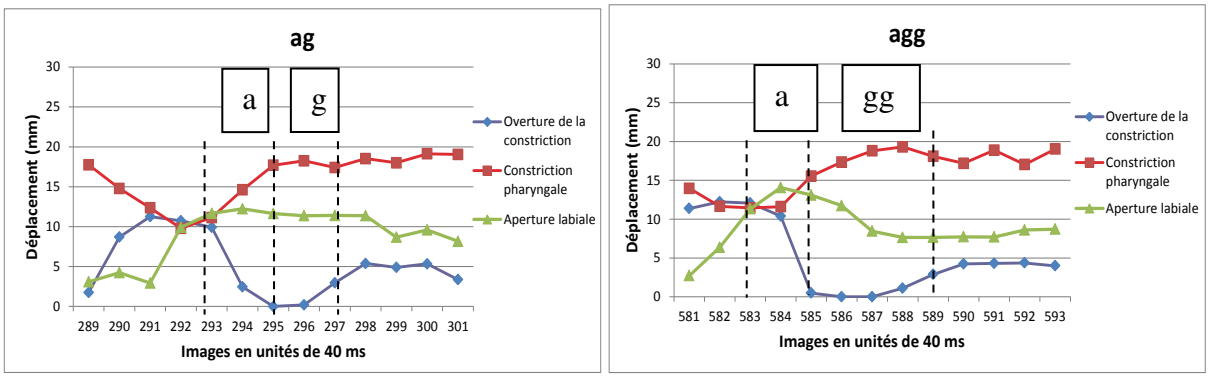


Figure 100 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ag/ (à gauche) et /agg/ (à droite) ; locuteur Kh

F

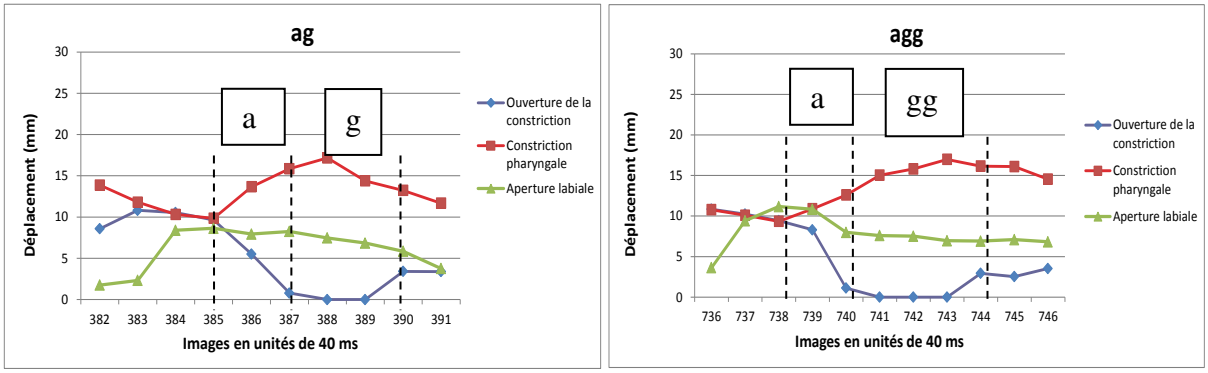


Figure 101 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ag/ (à gauche) et /agg/ (à droite) ; locuteur F

Résumons ici les résultats récurrents de l'opposition phonologique de la gémination dans ce contexte VC, où C'est une occlusive voisée : le contact alvéolaire est plus long pour les géminées, et cela pour les deux locuteurs ; la taille de l'aperture labiale se réduit en allant de la voyelle /a/ à la consonne cible, alors que celle de la constriction pharyngale augmente ; le timing de ces deux gestes est relativement plus stable et se maintient plus longtemps chez les géminées par rapport aux simples ; le geste labial et les gestes linguaux sont anticipés dans les configurations ouvrantes de la voyelle /a/, en vue de la réalisation des consonnes cibles.

Poursuivons nos analyses en changeant de catégorie consonantique, par rapport au mode articulatoire, et soyons attentifs à d'éventuelles modifications dans le contrôle spatiotemporel dans la réalisation du phénomène phonologique de la gémination.

Le contrôle spatiotemporel de la gémination en contexte VC : les constrictives non voisées

Le contexte alvéolaire /s/

Les Figure 102 et Figure 103 montrent une ouverture de la constriction alvéolaire minimale nettement plus longue pour les géminées que pour les simples. Par rapport aux configurations du /a/, l'aperture minimale est maintenue réduite durant la production de la consonne (ce constat est moins marqué chez le locuteur F, lorsqu'il réalise l'alvéolaire simple ; *cf.* Figure 103, à gauche). Si la taille de la cavité pharyngale a tendance à augmenter légèrement lors de la réalisation des consonnes simples, elle reste relativement stable durant la production des géminées. La réduction de l'ouverture de la constriction alvéolaire et de l'aperture en vue de la réalisation de la consonne alvéolaire /s/ est anticipée dans les configurations du /a/.

Kh

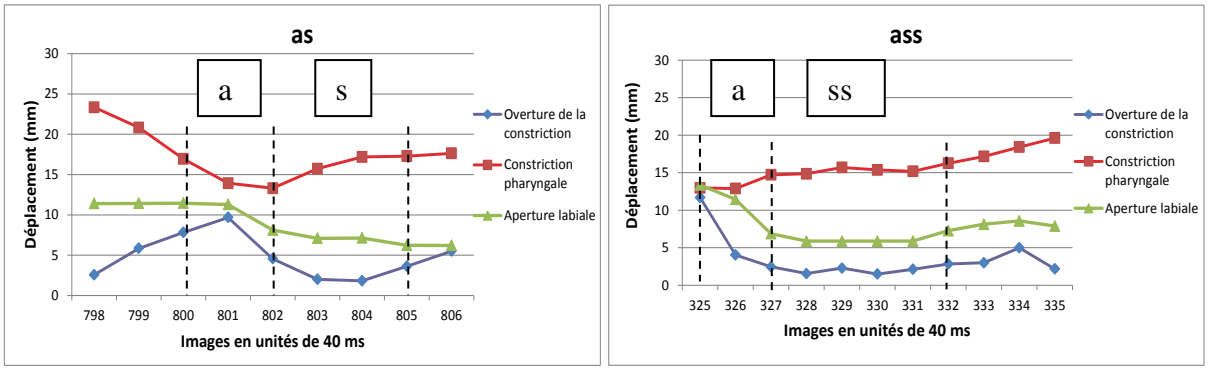


Figure 102 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /as/ (à gauche) et /ass/ (à droite) ; locuteur Kh

F

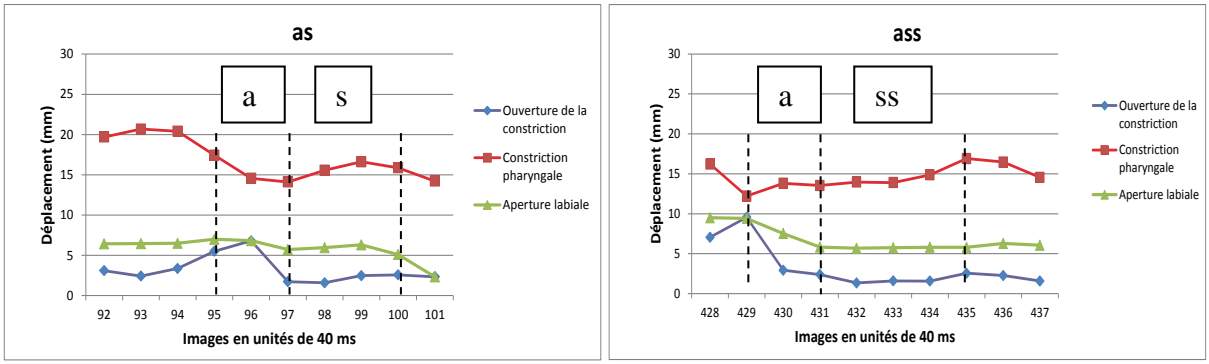


Figure 103 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /as/ (à gauche) et /ass/ (à droite) ; locuteur F

Le contexte alvéolaire /ʃ/

Dans ce contexte alvéolaire labialisé, les Figure 104 et Figure 105 indiquent, comme dans le contexte alvéolaire précédent, une ouverture de la constriction alvéolaire minimale plus longue pour les géminées que pour les simples. Par rapport aux configurations du /a/, l'aperture minimale reste relativement stable durant la production de la consonne. La taille de l'aperture labiale a tendance à être plus grande pour cette consonne /ʃ / par rapport au /s/, mais seulement pour le locuteur Kh (comparer Figure 102 et Figure 104). La taille de la cavité pharyngale a tendance à augmenter légèrement lors de la réalisation des consonnes simples et géminées ; ce geste d'augmentation de la taille de la cavité pharyngale est anticipé dans les configurations associées au /a/ précédent. Il en va de même pour la réduction de l'ouverture de la constriction alvéolaire en vue de la réalisation de la consonne alvéolaire /ʃ/.

Kh

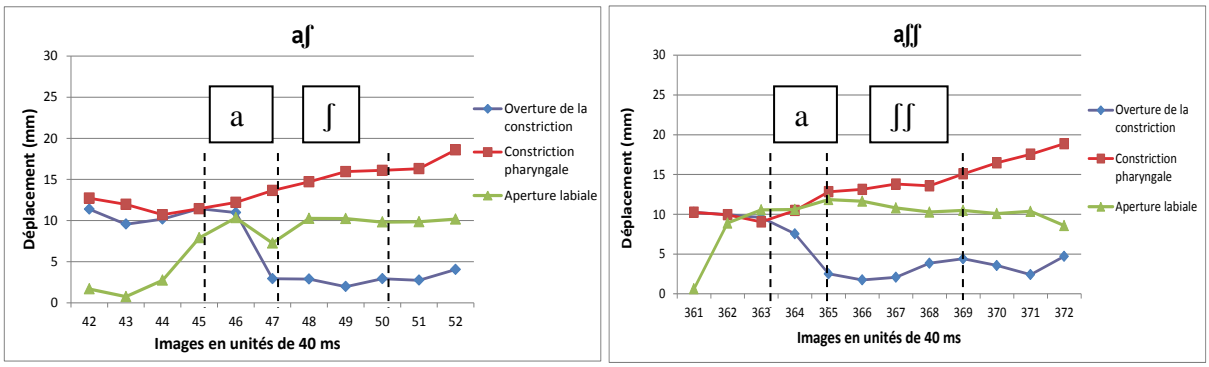


Figure 104 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aʃ/ (à gauche) et /aʃʃ/ (à droite) ; locuteur Kh

F

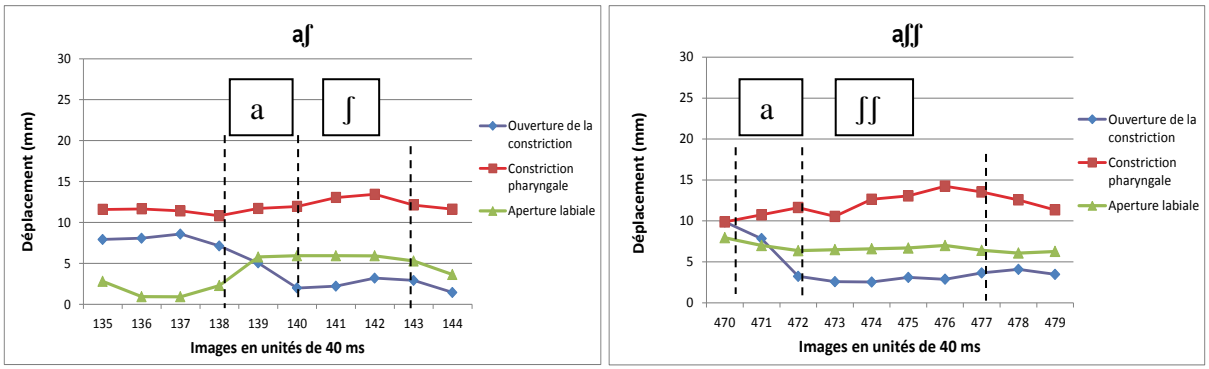


Figure 105 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aʃ/ (à gauche) et /aʃʃ/ (à droite) ; locuteur F

Les données indiquent dans ce contexte de fricatives non voisées, une ouverture de la constriction alvéolaire minimale plus longue pour les géminées que pour les simples. L'aperture minimale reste relativement stable durant la production de la consonne par rapport au /a/ précédent. La taille de la cavité pharyngale a tendance à augmenter légèrement lors de la réalisation des consonnes simples et géminées ; ce geste d'augmentation de la taille de la cavité pharyngale est anticipé dans les configurations associées au /a/ précédent. Il en va de même de la réduction de l'ouverture de la constriction alvéolaire en vue de la réalisation de la consonne alvéolaire /ʃ/.

Le contrôle spatiotemporel de la gémination en contexte VC : les constrictives voisées

Les contextes alvéolaires /z/ et /ʒ/

Malgré la présence de voisement, le contrôle spatiotemporel de la gémination révèle des trajectoires structurellement semblables à celles des contextes non voisés analysés auparavant. Pour cette raison, nous nous contenterons ici de faire une synthèse des résultats, en collationnant ceux du /z/ avec ceux du /ʒ/, et cela pour les deux locuteurs. En substance, l'observation des Figure 102, Figure 103, Figure 104 et Figure 105, révèle cette ressemblance structurelle remarquable entre les constrictives non voisées (*cf.* Figure 106, Figure 107, Figure 108 et Figure 109) et ces constrictives voisées. On constate, de manière générale, une ouverture de la constriction alvéolaire minimale plus longue pour les géminées que pour les simples. Par rapport aux configurations du /a/, si l'aperture minimale reste relativement stable durant la production de la consonne /ʒ/, elle diminue pour la réalisation du /z/. La taille de l'aperture labiale a tendance à être plus grande pour cette consonne /ʒ/ par rapport au /z/ mais, ici aussi, seulement pour le locuteur Kh (comparer Figure 108 et Figure 106). La taille de la cavité pharyngale a tendance à augmenter légèrement lors de la réalisation des consonnes simples et géminées ; ce geste d'augmentation de la taille de la cavité pharyngale est anticipé dans les configurations associées au /a/ précédent. Nous constatons la même stratégie anticipatoire en ce qui concerne la réduction de l'ouverture de la constriction alvéolaire, en vue de la réalisation de ces consonnes alvéolaires.

Kh

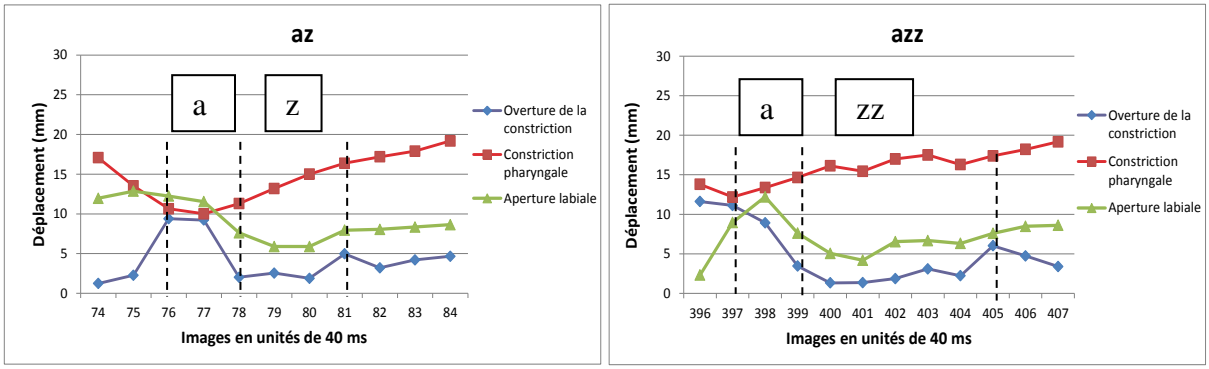


Figure 106 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /az/ (à gauche) et /azz/ (à droite) ; locuteur Kh

F

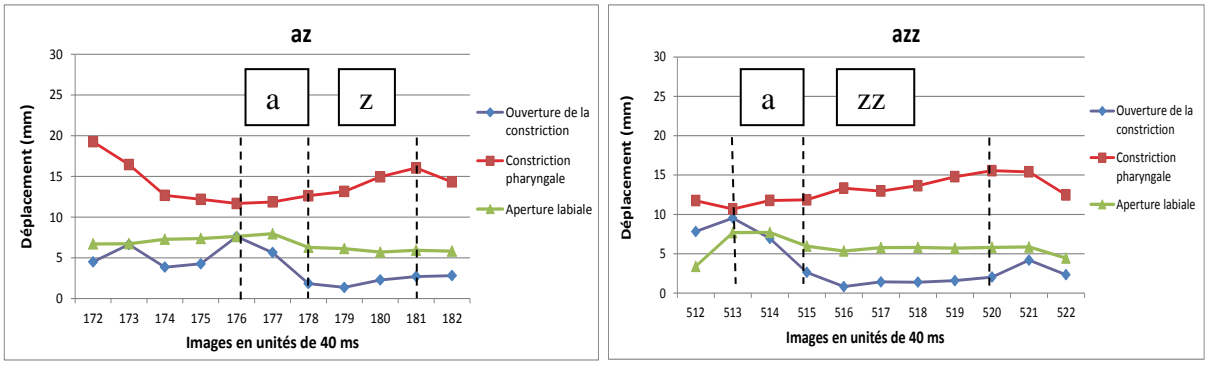


Figure 107 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /az/ (à gauche) et /azz/ (à droite) ; locuteur F

Kh

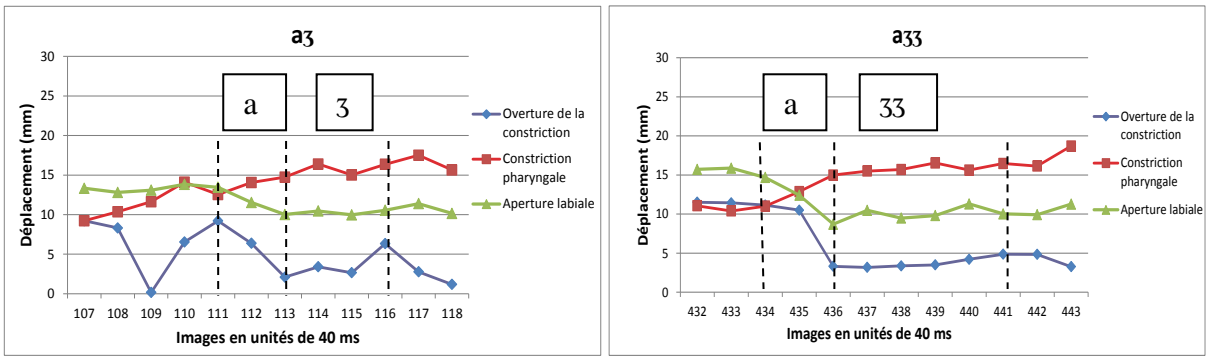


Figure 108 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /a3/ (à gauche) et /a33/ (à droite) ; locuteur Kh

F

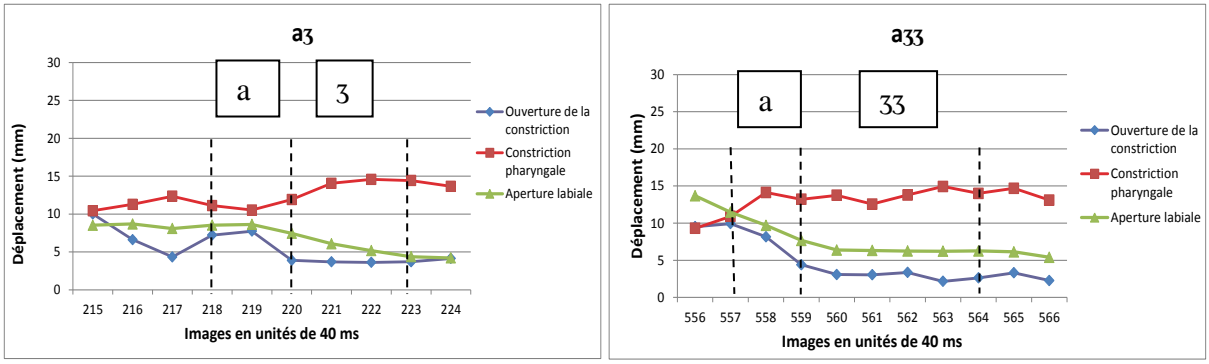


Figure 109 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /a3/ (à gauche) et /a33/ (à droite) ; locuteur F

L'analyse des données révèle une organisation spatio-temporelle remarquable entre les constrictives non voisées et ces constrictives voisées. Nous observons les mêmes stratégies anticipatoires en ce qui concerne les gestes linguaux et le geste labial que dans le contexte non voisé précédent. En conséquence, nous référons le lecteur au commentaire donné *supra* pour leurs homologues non voisés, par souci de ne pas trop alourdir la description et l'analyse de nos données

10 Gestes du larynx et de l'os hyoïde

Vaxelaire (2007) nous signale que les gestes d'élévation et d'abaissement de l'ensemble du larynx sont fréquemment observés durant la déglutition, mais également lors de la production de la parole, afin de contrôler la hauteur de la voix, mais aussi pour réaliser des oppositions consonantiques phonologiques sourdes *vs.* sonores (Ohala & Eukel, 1978; Lindqvist *et al.,* 1973).

Lors de la production de consonnes éjectives et implosives, l'ensemble du larynx n'est pas élevé ou abaissé respectivement, le taux de la pression intra-orale pendant la production du son désiré joue aussi un rôle significatif. Si nous savons que les gestes glottiques relativement simples d'élévation et d'abaissement sont pertinents pour ces catégories de sons dits rares que nous venons de citer, nous sommes encore loin d'appréhender la contribution des gestes du larynx à la formation des sons plus fréquemment décrits dans la littérature. D'où l'intérêt que nous accordons à cette investigation sur le couple larynx-os hyoïde, lors de la production des géminées du tarifit.

L'os hyoïde, structure isolée de la structure squelettique humaine, est en effet non seulement relié à la langue et à la mandibule, mais aussi au larynx grâce à un système complexe de muscles et de ligaments. Il est donc judicieux d'étudier le comportement du larynx en relation avec la position de l'os hyoïde pendant la production de la parole (*cf.*, par ex., Ladefoged *et al.,* 1972 ; Bothorel, 1979 ; Vaxelaire & Sock, 1997 ; Vaxelaire, 2006).

Bien que des données sur le déplacement vertical du larynx durant la production de voyelles et de consonnes soient attestées dans la littérature (voir, par ex., Perkell, 1969 ; Hirose, 1977 ; Barbier, 1979 ; Bothorel, 1979 ; Rossi & Autesserre, 1979 ; Vaxelaire & Sock, 1997) celles sur les gestes du larynx dans le cas de la gémination ou des consonnes doubles manquent cruellement dans la littérature. Les résultats des recherches que nous allons présenter ici prennent donc place parmi les contributions aux connaissances sur le contrôle robuste de positions et de trajectoires laryngales, notamment pendant la réalisation de certains gestes consonantiques des langues du monde.

Les données cinéradiographiques obtenues par Vaxelaire (1993 ; 2007) ainsi que Vaxelaire & Sock (1997) pour deux locuteurs produisant des phrases qui comportent des séquences Voyelle-Consonne-Voyelle (VCV) dans deux conditions de vitesse d'élocution, normale ou conversationnelle et rapide, révèlent plusieurs faits intéressants. Citons-en quelques-uns ici.

En premier lieu, elles confirment l'existence d'une relation étroite entre le mouvement du larynx et celui de l'os hyoïde. Les auteurs Vaxelaire & Sock (1997) montrent ainsi que le déplacement de l'os hyoïde est diagonal en nature, avec un mouvement d'élévation accompagné de celui d'une translation en arrière. Cette translation en arrière correspond donc à la composante horizontale du mouvement de l'os hyoïde. Ils obtiennent des corrélations relativement élevées entre le déplacement vertical du larynx et la composante horizontale du mouvement diagonal de l'os hyoïde.

Leurs Figure 110 et Figure 111 montrent l'évolution de la position du larynx à travers des séquences VCV, où V1 est toujours la voyelle haute /u/ et V2 la voyelle basse /a/. Dans la Figure 110, en vitesse d'élocution normale (graphique de gauche), on voit que la position du larynx pour la locutrice MM est à 18 mm en moyenne durant les configurations correspondant à la production du /u/ (images 863 à 867). Cette position du larynx atteint une valeur moyenne de 24 mm dans les configurations relatives à la production du /a/ (images 871 à 876). En augmentant la vitesse d'élocution (graphique de droite), la position initiale du larynx pour la production du /u/ (images 544 à 546) est maintenant à 23 mm en moyenne (nous reviendrons *infra* sur ce point) alors qu'elle atteindra une valeur de 29 mm dans les configurations du /a/ (images 550 à 555). Ils signalent cependant que l'amplitude des déplacements du larynx, des configurations vocaliques de la voyelle haute à celles de la voyelle basse, est comparable dans les deux conditions de vitesse d'élocution : elle est de 6 mm en moyenne.

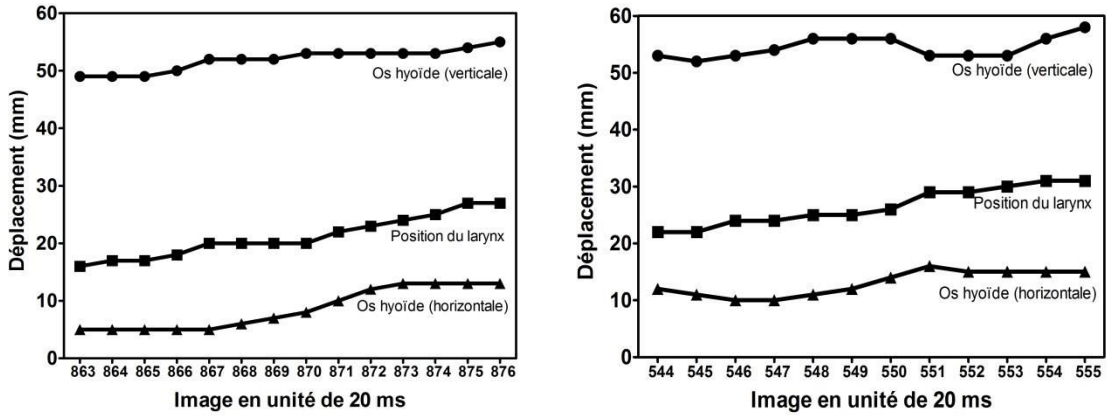


Figure 110 : Gestes du larynx (déplacement vertical) et de l'os hyoïde (déplacements vertical et horizontal) pour la séquence /uta/. L'axe des ordonnées montre le déplacement de ces structures (mm) et l'axe des abscisses indique le temps, une image toutes les 20 ms (Adapté de Vaxelaire & Sock, 1997).

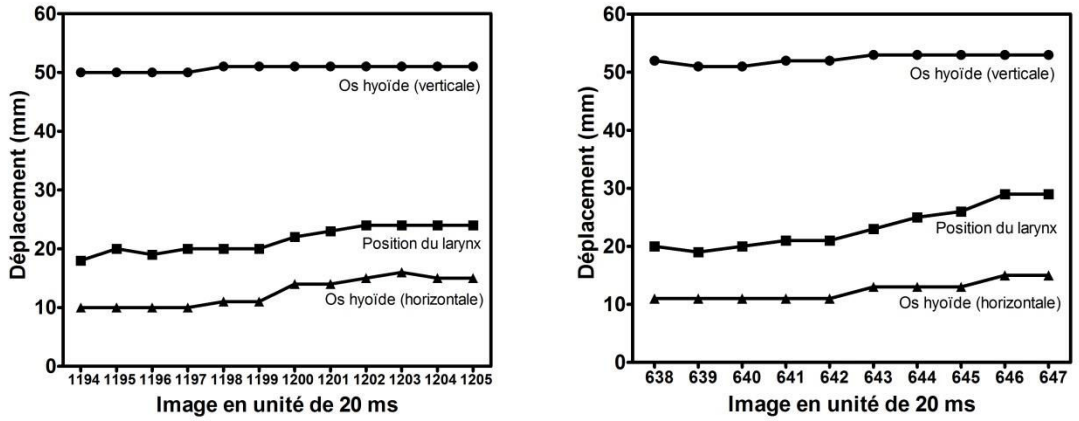


Figure 111 : Gestes du larynx (déplacement vertical) et de l'os hyoïde (déplacements vertical et horizontal) pour la séquence /uka/. L'axe des ordonnées montre le déplacement de ces structures (mm) et l'axe des abscisses indique le temps, une image toutes les 20 ms (Adapté de Vaxelaire & Sock, 1997).

En comparant la Figure 110 et la Figure 111, les auteurs attirent notre attention sur les deux faits suivants :

1) une similarité entre les trajectoires du larynx et de l'os hyoïde à travers les séquences VCV ;

2) une ressemblance structurelle des trajectoires, quels que soient les contextes consonantiques /t/ ou /k/, et les locuteurs.

Cette robustesse de la corrélation entre les deux structures, quels que soient les contextes segmentaux (vocaliques ou consonantiques) et prosodiques (vitesses d'élocution, voix d'homme, voix de femme, voyelle aiguë, voyelle grave, etc.), les a autorisés à considérer les deux entités comme une seule unité fonctionnelle.

Ensuite, ils observent que la position du larynx est systématiquement plus basse pour les voyelles dites fermées, par rapport à leurs homologues ouvertes. Ce constat est en accord avec les résultats obtenus par Bothorel (1975) pour une variante dialectale du breton parlé à Argol. Pour les séquences /upa/ (dans la phrase « Nous pâlissons.») et /apu/ (dans la phrase « Il a pourri.»), pour lesquelles la production consonantique « extra-buccale » ne requiert pas l'intervention active de la langue, la masse de cette dernière se déplace dans une direction opposée à celle du couple larynx-os hyoïde.

Alors que la masse de la langue adopte une trajectoire descendante constante pour la production des séquences /upa/, l'unité larynx-os hyoïde, elle, continue son mouvement d'élévation. Leur Figure 112 montre cette évolution des trajectoires du larynx, couplé à l'os hyoïde, et de la masse de la langue à travers la séquence /upa/, en vitesses d'élocution normale (à gauche) et rapide (à droite). Ce patron gestuel s'oppose symétriquement à celui

observé pour la production de la séquence /apu/. Dans les deux cas, il résulte une distance maximale pour la configuration du /u/ entre la position de la masse de la langue et celle du couple larynx-os hyoïde. Pour la configuration du /a/, cette distance entre la position de la masse de la langue et celle du couple larynx-os hyoïde est minimale. On voit bien que ce scénario se produit également en vitesse d'élocution rapide.

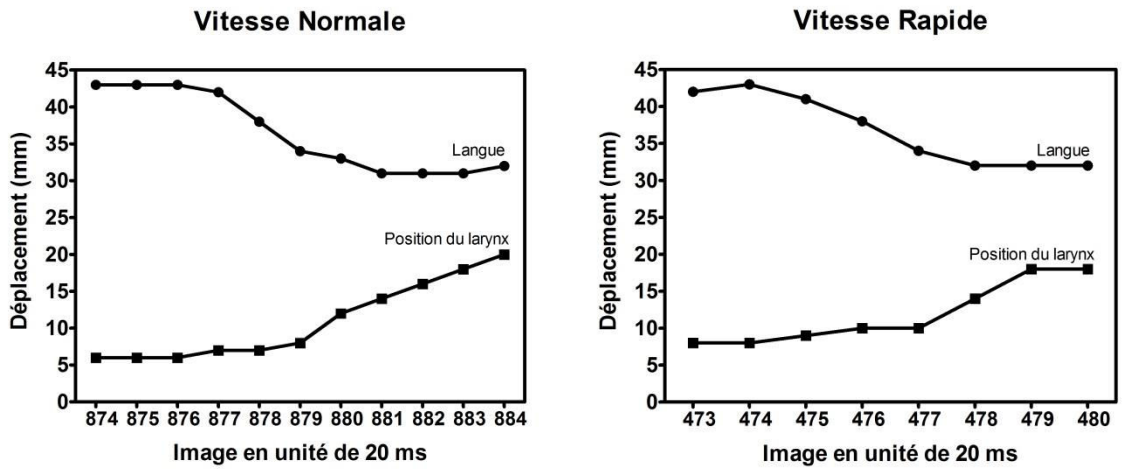


Figure 112 : Une analyse image par image de la séquence /upa/ en vitesses d'élocution normale (à gauche) et rapide (à droite). On voit sur la figure que le timing relatif des gestes du dos de la langue et du larynx est comparable dans les deux conditions de vitesse d'élocution (Adapté de Vaxelaire & Sock, 1997).

Il a aussi semblé intéressant, pour Vaxelaire & Sock (1997), de revenir sur une observation signalée *supra* : le larynx et l'os hyoïde ont une position plus haute en vitesse d'élocution rapide, comparée aux ajustements initiaux observés en vitesse d'élocution normale (Figure 112). Pour eux, l'augmentation de la vitesse d'élocution requerrait une configuration initiale sans doute nécessaire pour l'accélération de la tâche articulatoire. Ils proposent également de garder ouverte la question de l'incidence de l'accélération de la vitesse d'élocution sur l'élévation de la position du larynx et d'une co-variation possible de la fréquence fondamentale (Bothorel, *comm. pers.*, 2004).

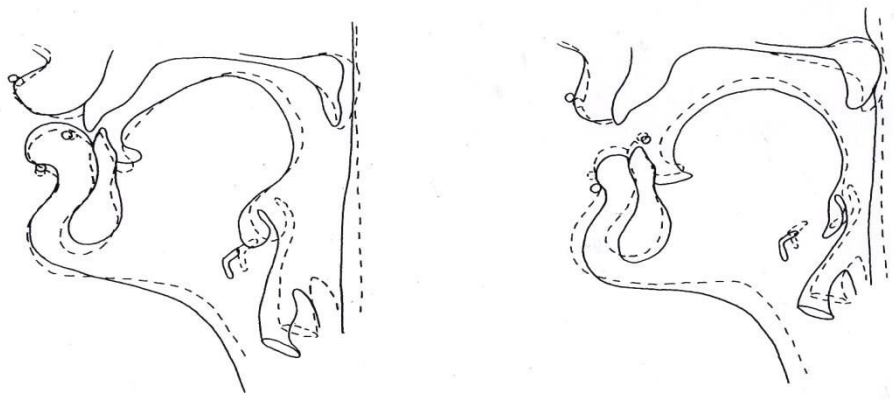


Figure 113 : Vues de profil pour la production du /u/ (à gauche) et du /a/ (à droite), en vitesses d'élocution normale (ligne continue) et rapide (pointillés). Remarquer une position plus élevée du larynx et de l'os hyoïde en vitesse d'élocution rapide (Adapté de Vaxelaire & Sock, 1997).

Malgré ce changement dans la configuration de ces structures, les formes adéquates du conduit vocal sont préservées, et le timing relatif est comparable dans les deux conditions de vitesse d'élocution (revoir les Figure 112 et Figure 113), pour assurer en quelque sorte l'émergence des catégories phonétiques apparaissant dans les séquences étudiées.

Étant donné que le mouvement de l'ensemble larynx-os hyoïde est inversement corrélé avec le déplacement vertical de la masse de la langue et, en conséquence, avec l'aperture vocalique, leurs données rejettent systématiquement « l'hypothèse tongue-pull » (*tongue-pull hypothesis*). Il s'agit plus précisément de la version de cette hypothèse qui prône une relation forte entre l'élévation de la masse de la langue, de l'os hyoïde et des structures rigides du larynx. Pour eux, il existerait ainsi une corrélation étroite et positive entre le déplacement de ces trois structures, où le déplacement vertical de la masse linguale entrainerait le déplacement vertical du couple larynx-os hyoïde et, par-là, la diminution du diamètre de la constriction vocalique. Les auteurs signalent que cette hypothèse, qui avait d'abord été défendue par Ladefoged (1964), puis par Lehiste (1970), tentait également d'établir une corrélation entre ces gestes d'élévation et une variation de F0 : la langue, en s'élevant pour réaliser les voyelles les plus fermées, tirerait l'os hyoïde et le larynx vers le haut, ce qui provoquerait une tension dans les cordes vocales et, en conséquence, une élévation de F0. Or, il n'en est rien dans les données attestées dans la littérature. Vaxelaire (2007) signale que les différents tenants de cette hypothèse devaient, plus tard, soit simplement la rejeter (voir, par ex., Ladefoged *et al.,* 1972), soit la réviser en prônant sa pertinence dans le domaine du chant ou dans la production de voyelles soutenues, et en reconnaissant son invalidité en production de la parole (voir, par ex., Ohala & Eukel, 1978). Le comportement de ces structures

s'expliquerait par la *contraction* de muscles spécifiques : le géniohyoïde, le ventre antérieur du digastrique et le mylohyoïde (Perkell, 1969).

Enfin, Vaxelaire (2007) indique que les trajectoires du larynx et de l'os hyoïde de voyelle-à-voyelle dans les séquences VCV ne sont pas significativement perturbées, ni par le changement de la vitesse d'élocution, ni par la présence d'une consonne médiane, même lorsque cette dernière requiert un geste lingual pour son articulation. Ce seraient, en effet, les trajectoires vocaliques du larynx et de l'os hyoïde qui imposeraient leurs spécificités propres aux configurations consonantiques, « cachant » ainsi ces dernières (*cf.* Vaxelaire, 1993). Cette observation confirme l'hypothèse plus générale de la robustesse des gestes vocaliques, comparés aux gestes consonantiques (Öhman, 1966).

En faisant varier la vitesse d'élocution, elle a réussi à montrer que les configurations, ainsi que les trajectoires laryngales, sont robustes dans la production de la parole (surtout celles associées à la production des éléments vocaliques). Pour Vaxelaire (2007), ce résultat ne serait pas surprenant, compte tenu de la relative rigidité de ces structures, mais surtout de la primauté du contrôle des gestes glottiques, en tant que source des sons de la parole, sur ceux apparaissant dans les cavités du conduit vocal. Une initialisation correcte du geste à la source serait en effet déterminante pour tout couplage adéquat avec les mouvements supraglottiques, d'où la résistivité spatio-temporelle de ces gestes de l'unité larynx-os hyoïde. Les données qu'elle a obtenues sont, en conséquence, en accord avec son hypothèse de départ (*cf.*, *supra*).

Pour mémoire, rappelons que Vaxelaire & Sock (1997) puis Vaxelaire (2007) défendent, entre autres, l'idée que les gestes du larynx et de l'os hyoïde devraient être résistants à la perturbation induite par l'augmentation de la vitesse d'élocution puisque :

1) les deux structures sont relativement rigides, ayant peu de degrés de liberté dans leurs déplacements ;

2) le larynx représente l'organe « source » des sons, et son couplage avec une autre structure d'importance fondamentale, en l'occurrence l'os-hyoïde où la racine de la langue s'attache, révélerait une haute précision dans son organisation spatio-temporelle, organisation fine indispensable pour les couplages oro-laryngés.

Nous proposons, dans la section suivante, de voir dans quelle mesure nos données corroborent ces constats.

Gestes du larynx et de l'os hyoïde dans l'opposition simples *vs.* géminées

Étant donné que les résultats sont sensiblement les mêmes pour nos deux locuteurs, et cela quels que soient les contextes consonantiques (lieu d'articulation et voisement) et les positions dans l'énoncé, nous nous contenterons ici de ne présenter graphiquement et de ne commenter que quelques exemples typiques. Le lecteur trouvera les autres données en Annexe 3 qui confirment ces assertions.

Gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique

En position intervocalique, où la consonne cible simple ou géminée se trouve entre deux /a/, on constate (Figure 114 à Figure 119) que :

1) les trajectoires du geste du larynx et de l'os hyoïde évoluent dans la même direction. Nous confirmons ainsi un certain couplage entre les gestes d'élévation de ces deux structures en contextes apical, vélaire et uvulaire;
2) la position du couple larynx-os hyoïde reste relativement stable de voyelle-à-voyelle, en passant par la consonne. Ainsi, on ne peut pas dire que la consonne, simple ou géminée, modifie la trajectoire de voyelle-à-voyelle, si ce n'est pour quelques rares modifications minimes, visibles dans les configurations consonantiques. Quoi qu'il en soit, ces légers changements de trajectoires durant la réalisation de la consonne sont décelables notamment dans le contexte uvulaire;
3) structurellement, le contrôle spatiotemporel du geste du larynx et de celui de l'os hyoïde est comparable entre les consonnes simples et les consonnes géminées;
4) le contraste de voisement ne semble pas avoir un impact notoire sur le déplacement vertical du larynx et de l'os hyoïde, même si, rappelons-le encore, l'opposition voisée *vs.* non voisée ne se réalise pas ici en contexte contrôlé, *ceteris paribus*;
5) des stratégies individuelles remarquables n'ont pas été mises au jour.

Kh

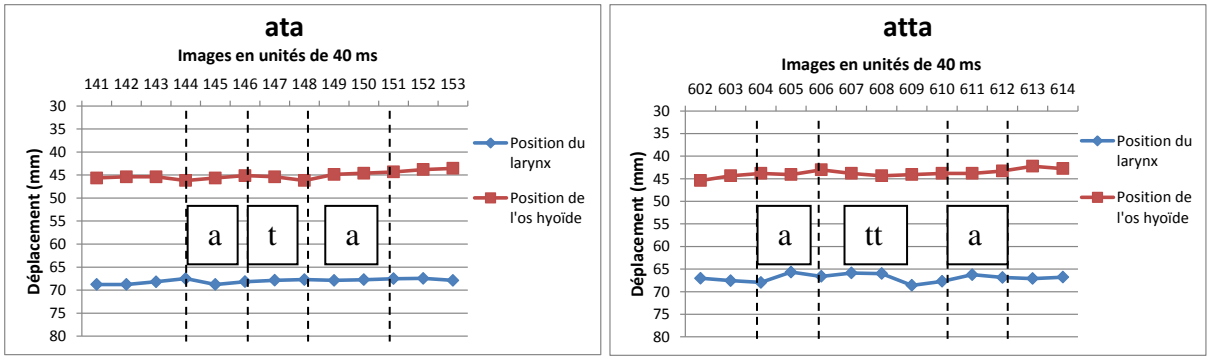


Figure 114 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ata/ (à gauche) et /atta/ (à droite) ; locuteur Kh

F

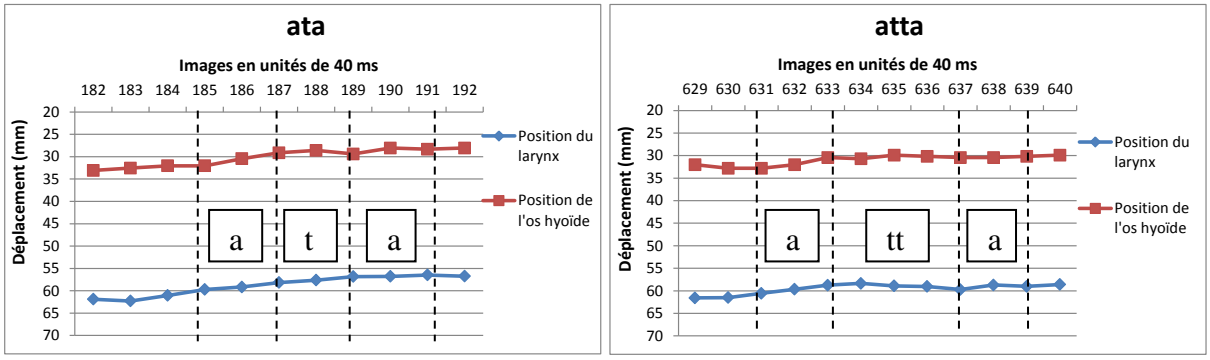


Figure 115 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ata/ (à gauche) et /atta/ (à droite) ; locuteur F

Kh

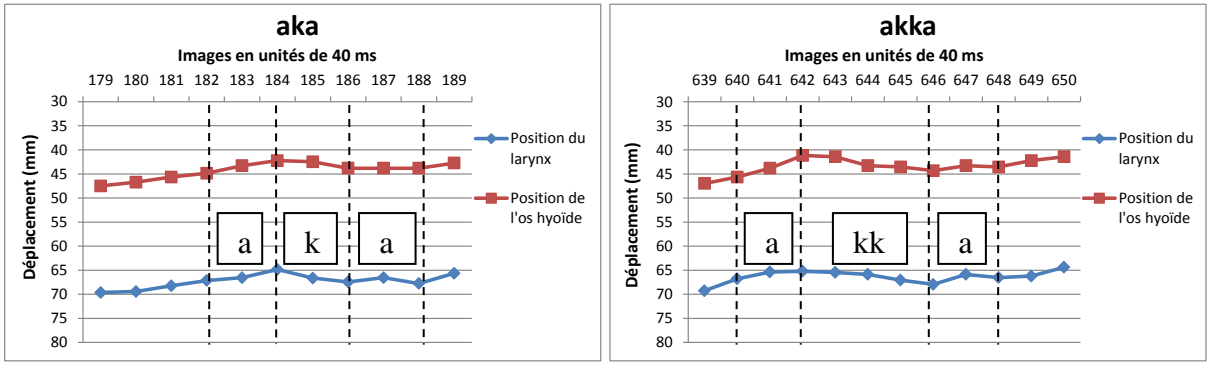


Figure 116 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aka/ (à gauche) et /akka/ (à droite) ; locuteur Kh

F

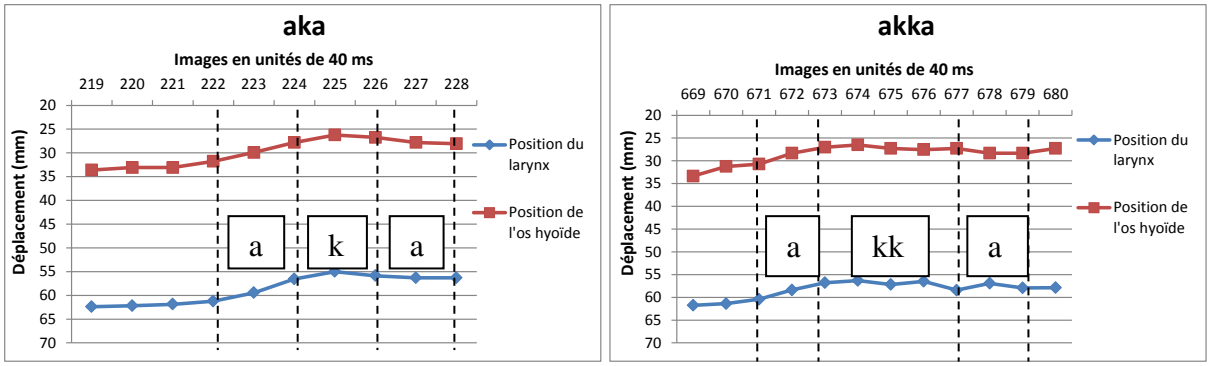


Figure 117 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aka/ (à gauche) et /akka/ (à droite) ; locuteur F

Kh

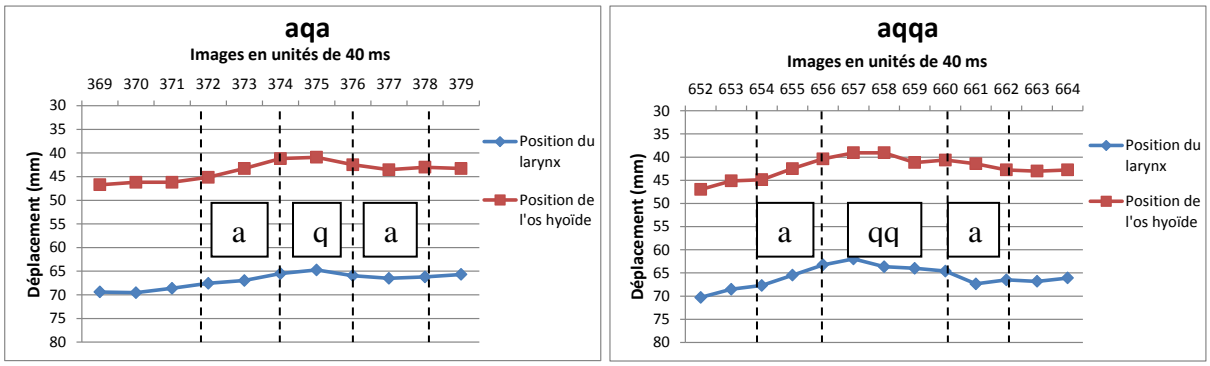


Figure 118 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aqa/ (à gauche) et /aqqa/ (à droite) ; locuteur Kh

F

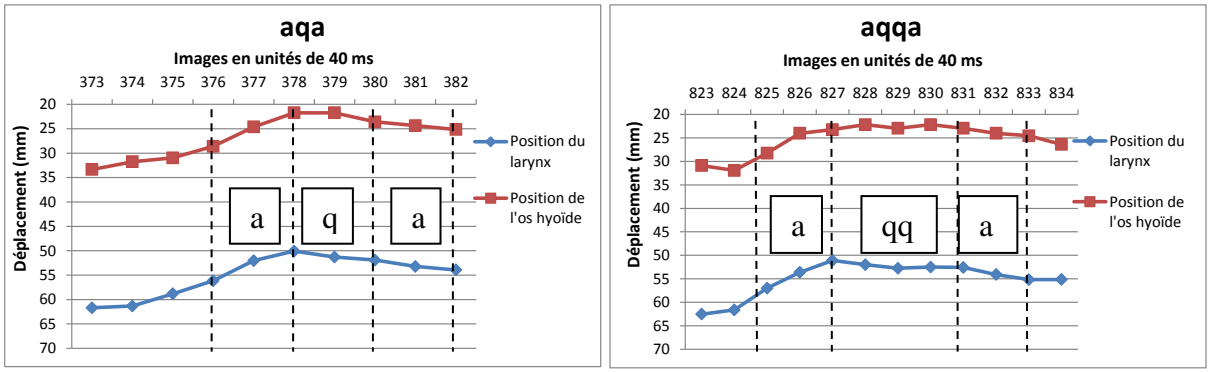


Figure 119 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aqa/ (à gauche) et /aqqa/ (à droite) ; locuteur F

Gestes du larynx et de l'os hyoïde en position initiale de mot

En position initiale de mot, où la consonne cible simple ou géminée est précédée de la voyelle haute /i/, appartenant à la phrase porteuse et suivie de la voyelle /a/, on peut faire les observations suivantes (Figure 120 à Figure 125) :

1) le timing relatif du geste du larynx et de l'os hyoïde confirme une évolution de la trajectoire de ces deux structures qui va dans le même sens, corroborant ainsi le couplage étroit observé entre les gestes d'élévation de ces deux structures dans le contexte intervocalique, analysé plus haut ;

2) la position du couple larynx-os hyoïde est relativement basse pour la voyelle /i/, et entame un geste d'élévation vers le /a/, passant par la consonne. Dans ce contexte aussi, on ne peut pas dire que la consonne, simple ou géminée, modifie la trajectoire de voyelle-à-voyelle. Les quelques perturbations induites par les gestes consonantiques sont minimes;

3) globalement, le contrôle spatiotemporel du geste du larynx et de celui de l'os hyoïde est comparable entre les consonnes simples et les consonnes géminées;

4) s'il est vrai que le couple larynx-os hyoïde est dans une position relativement basse durant la réalisation du /i/, puis se trouve dans une position plus haute lors de la production du /a/, il convient de signaler cependant que cette différence de position verticale reste faible: elle est de l'ordre de 5 mm à 10 mm, au maximum;

5) nous ne constatons pas non plus ici de stratégie individuelle remarquable dans cette position.

Kh

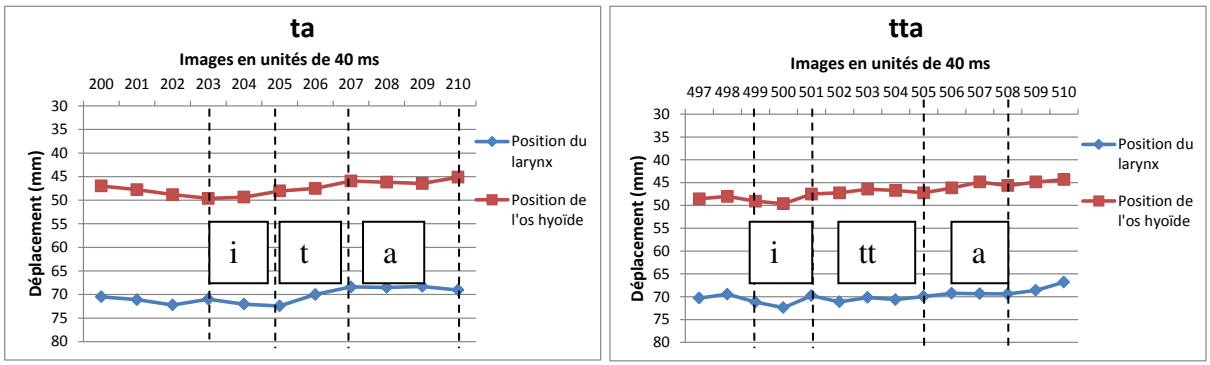


Figure 120 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ita/ (à gauche) et /itta/ (à droite) ; locuteur Kh

F

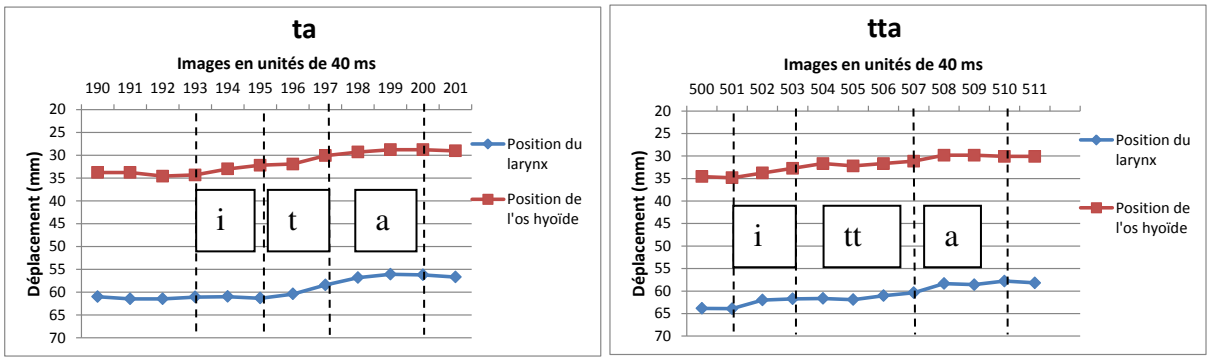


Figure 121 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ata/ (à gauche) et /atta/ (à droite) ; locuteur F

Kh

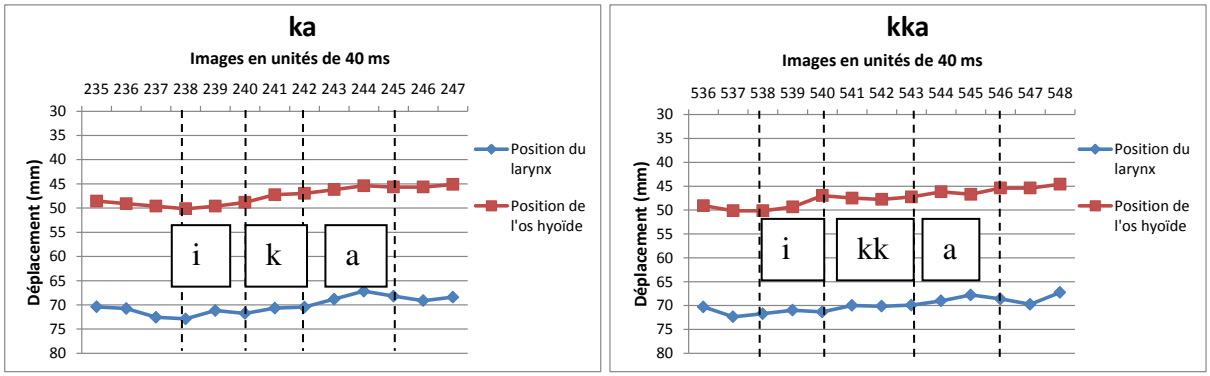


Figure 122 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ika/ (à gauche) et /ikka/ (à droite) ; locuteur Kh

F

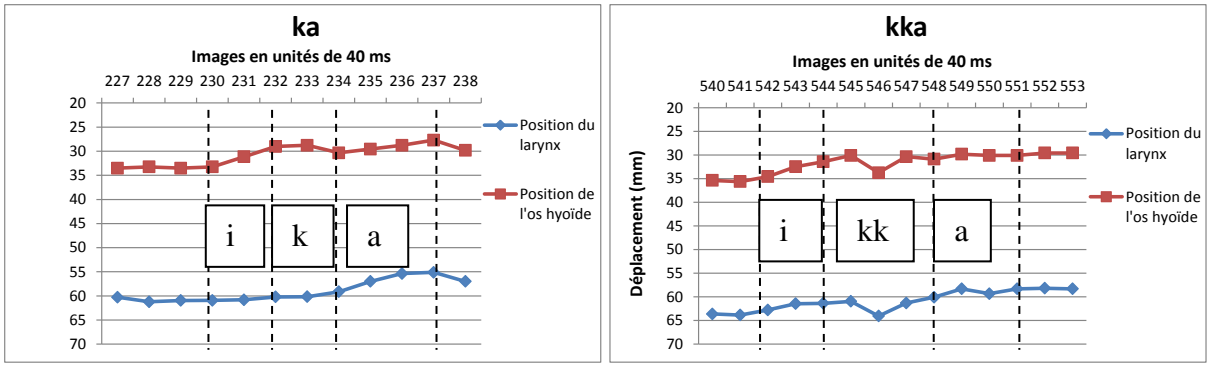


Figure 123 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ika/ (à gauche) et /ikka/ (à droite) ; locuteur F

Kh

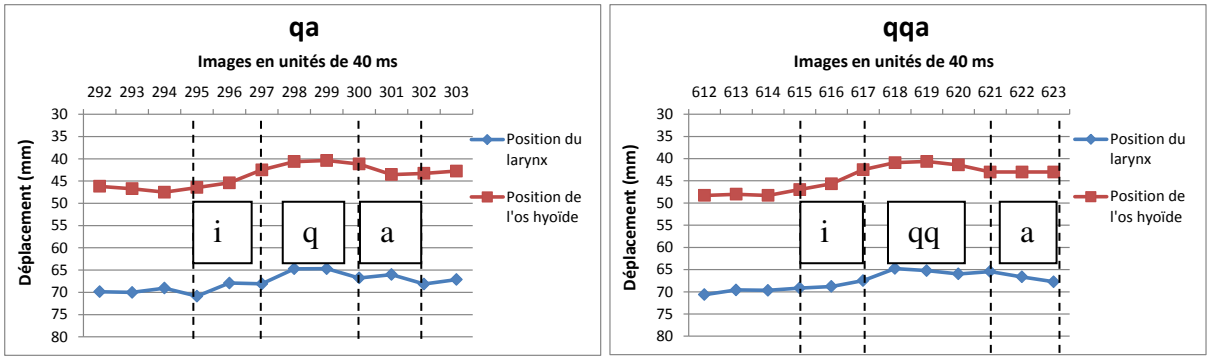


Figure 124 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iqa/ (à gauche) et /iqqa/ (à droite) ; locuteur Kh

F

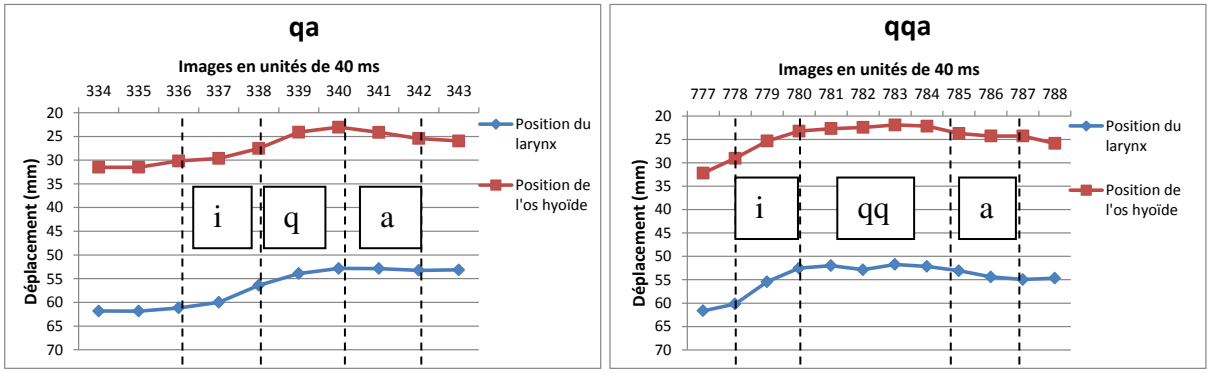


Figure 125 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iqa/ (à gauche) et /iqqa/ (à droite) ; locuteur F

Gestes du larynx et de l'os hyoïde en position finale de mot

En position finale de mot, la consonne cible simple ou géminée est précédée de la voyelle basse /a/, et est suivie de la voyelle haute /i/ appartenant à la phrase porteuse. Nous tirons les enseignements suivants (Figure 126 et Figure 127) :

1) le contrôle spatiotemporel du geste du larynx et de l'os hyoïde, dans ce contexte /aCi/, révèle des comportements inversement symétriques à ceux observés en contexte /iCa/. Ainsi, ceci confirme une évolution en parallèle de la trajectoire des deux structures et renforcent en conséquence cette notion de couplage étroit entre les gestes d'élévation de ces deux structures;

2) la position du couple larynx-os hyoïde est relativement haute pour la voyelle /a/ et basse pour le /i/. L'insertion d'un geste consonantique, simple ou géminée, ne change pas remarquablement la trajectoire de voyelle-à-voyelle. Les quelques perturbations induites par les gestes consonantiques sont minimes. Comme dans les positions

précédentes, elles proviennent surtout des consonnes vélaires et uvulaires, avec des dynamiques assez faibles au niveau du déplacement vertical de ces structures;

3) nous confirmons ici aussi que le contrôle spatiotemporel du geste du larynx et de celui de l'os hyoïde est comparable entre les consonnes simples et les consonnes géminées;

4) nos données ne montrent pas non plus de stratégie individuelle remarquable dans cette position.

Kh

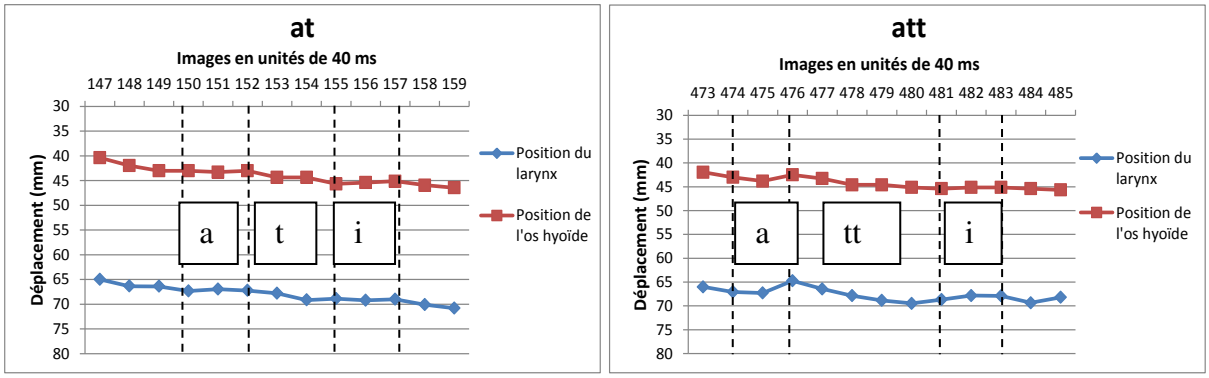


Figure 126 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ati/ (à gauche) et /atti/ (à droite) ; locuteur Kh

F

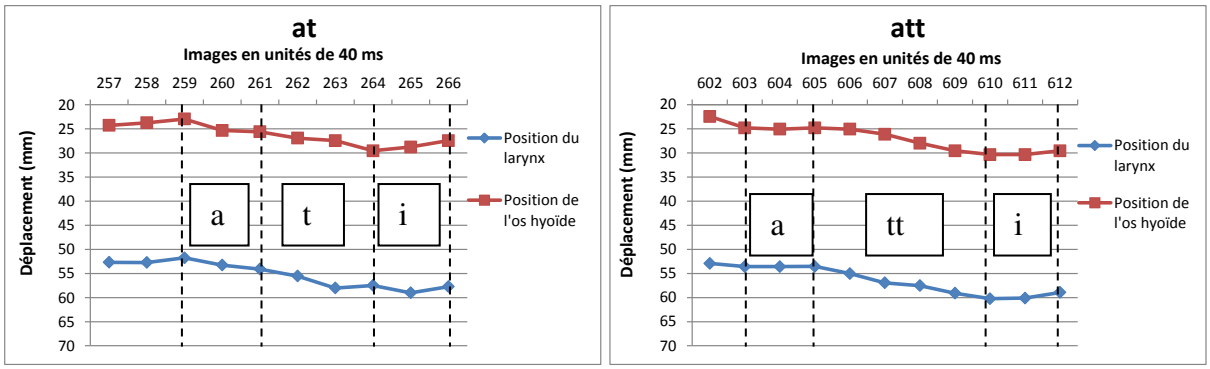


Figure 127 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ati/ (à gauche) et /atti/ (à droite) ; locuteur F

Kh

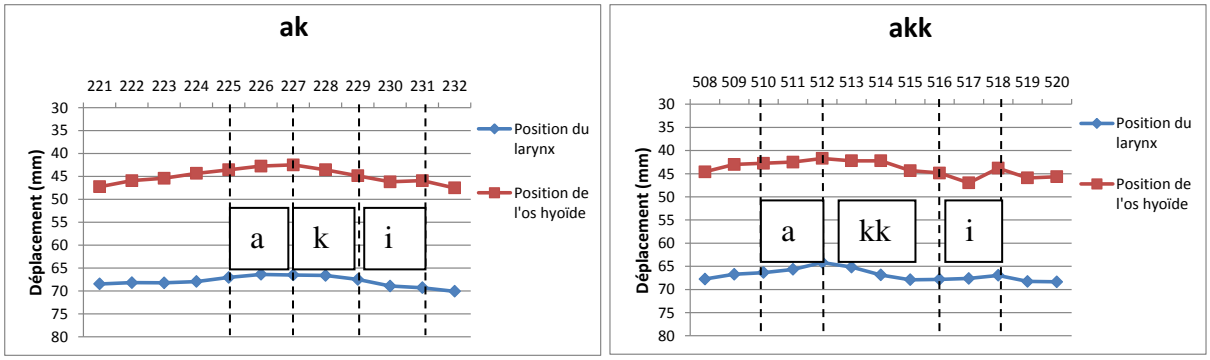


Figure 128 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aki/ (à gauche) et /akki/ (à droite) ; locuteur Kh

F

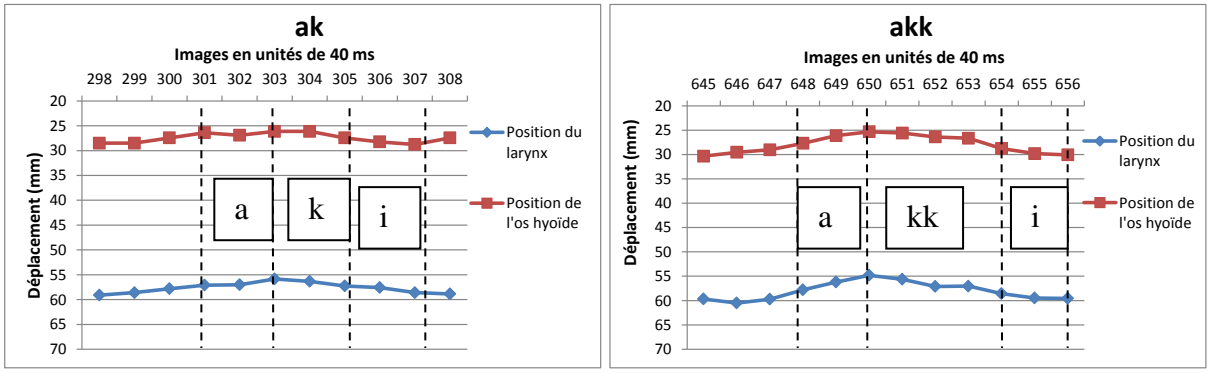


Figure 129 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aki/ (à gauche) et /akki/ (à droite) ; locuteur Kh

Pour résumer nos résultats, nous rappelons les constats suivants :

1) nous avons remarqué une similarité entre les trajectoires du larynx et de l'os hyoïde à travers nos différentes séquences, ainsi qu'une ressemblance structurelle des trajectoires, quels que soient les contextes consonantiques, les positions des séquences cibles dans les mots et les locuteurs. Ce couplage étroit observé entre le couple larynx-os hyoïde se confirme même si la « corrélation » entre les trajectoires de ces deux structures est obtenue à partir de leur déplacement vertical respectif. Rappelons que Vaxelaire et Sock (1997) obtiennent, eux, des corrélations relativement élevées entre le déplacement vertical du larynx et la composante horizontale du mouvement diagonal de l'os hyoïde;

2) nous avons trouvé que le contrôle spatiotemporel du geste du larynx et de celui de l'os hyoïde était comparable entre les consonnes simples et les consonnes géminées;

3) le mouvement de l'ensemble larynx-os hyoïde est inversement corrélé avec le déplacement vertical de la masse de la langue et, en conséquence, avec l'aperture vocalique. Ainsi, nos données rejettent elles aussi « l'hypothèse tongue-pull » (*tongue-pull hypothesis*);

4) l'analyse du déplacement vertical de l'ensemble larynx-os hyoïde ne permet pas de déceler un comportement qui serait à lier avec des oppositions consonantiques phonologiques sourdes *vs.* sonores. Cette affirmation devrait toutefois être nuancée étant donné que le contexte adjacent n'est pas comparable.

Ayant exploré, tant que faire se peut, le domaine spatiotemporel de la gémination en tarifit, nous proposons maintenant d'essayer de déceler quelques relations entre paramètres articulatoires et/ou articulatori-acoustiques. Nous pensons que de telles relations (voire corrélations) pourraient sous-tendre l'opposition phonologique de la gémination.

11 L'étendue de contact : un paramètre pertinent pour l'étude de la gémination ?

Suivant l'étude cinéradiographique menée par Vaxelaire (1995b) sur des consonnes simples et doubles (hétéromorphémiques homorganiques) du français, où elle montre que l'étendue de contact (la zone de contact palais/langue) est plus importante pour les occlusives doubles que pour les occlusives simples, nous avons nous-mêmes conduit une expérience similaire, mais préliminaire, sur les géminées du tarifit (Bouarourou *et al.*, 2008). Nos résultats ainsi ont révélé une étendue de contact plus large pour les géminées que pour les simples.

Les tableaux suivants montrent les étendues de contact pour nos deux locuteurs, pour toutes nos consonnes occlusives et dans les trois positions de mots (en positions intervocalique, initiale et finale non absolues). Cependant, nous ne donnons dans le texte que les résultats d'un seul locuteur, et cela uniquement en position intervocalique. En effet, l'observation et l'analyse des données nous ont indiqué une ressemblance remarquable des résultats, tant qualitative que quantitative, entre nos deux locuteurs et dans les trois positions (*cf.*Annexe 3).

Tableau 33 : Données correspondant à l'étendue de contact des occlusives en positions initiale, intervocalique et finale du locuteur Kh

		t	tt	k	kk	q	qq
Etendue de contact (mm)	CV	6	9	12	17	12	14
	VCV	6	9	13	20	7	20
	VC	6	11	11	22	11	19
		d	dd	g	gg		
	CV	5	9	10	17		
	VCV	5	9	13	20		
	VC	6	10	11	18		

Tableau 34 : Données correspondant à l'étendue de contact des occlusives en positions initiale, intervocalique et finale du locuteur F

		t	tt	k	kk	q	qq
Etendue de contact (mm)	CV	5	9	12	21	14	26
	VCV	5	11	11	18	13	20
	VC	5	11	11	22	11	33
		d	dd	g	gg		
	CV	5	11	12	22		
	VCV	5	10	11	18		
	VC	4	10	9	20		

Il convient alors, au préalable, de donner ici quelques précisions sur la manière dont la mesure de ce paramètre a été effectuée.

Détermination de la distance de contact :

Nous avons d'abord sélectionné les images présentant le contact maximum pour chaque consonne considérée. Nous avons ensuite copié chaque image sélectionnée sur un fichier (Word), et nous avons tracé une ligne recouvrant le contact entre la langue et les alvéoles pour les consonnes alvéolaires, le contact entre la langue et le palais mou pour les consonnes vélaires, et enfin le contact entre la langue et la luette pour les consonnes uvulaires.

Dans le fichier, nous obtenons la hauteur ainsi que la longueur de la ligne tracée. Afin de déterminer la taille de la ligne tracée, nous avons appliqué le théorème de Pythagore puisque la taille de la ligne de contact correspond à l'hypoténuse du triangle correspondant à la hauteur et la longueur obtenue. Ainsi, la distance de contact, correspondant à l'hypoténuse tracée par le triangle, dont nous avons la hauteur et la longueur, correspond à la racine carrée de la largeur au carré sur la hauteur au carré. Les mesures sont indiquées en mm.

L'analyse des vues de profil indique les résultats suivants (voir Figure 130 et Figure 139 et Tableau 33 et Tableau 34) :

1) l'étendue de contact est systématiquement plus importante pour les géminées que pour les simples, aussi bien pour les occlusives non voisées que pour les voisées ;
2) cette différence entre les étendues de contact pour les deux catégories est au minimum de 3 mm, et de 22 mm au maximum ;
3) l'étendue de contact augmente de la consonne alvéolaire à la vélaire (réalisée plutôt palatale ici), puis à l'uvulaire (à quelques rares exceptions près) ;

4) ces résultats traversent l'ensemble de nos données qui figurent en Annexe 3.

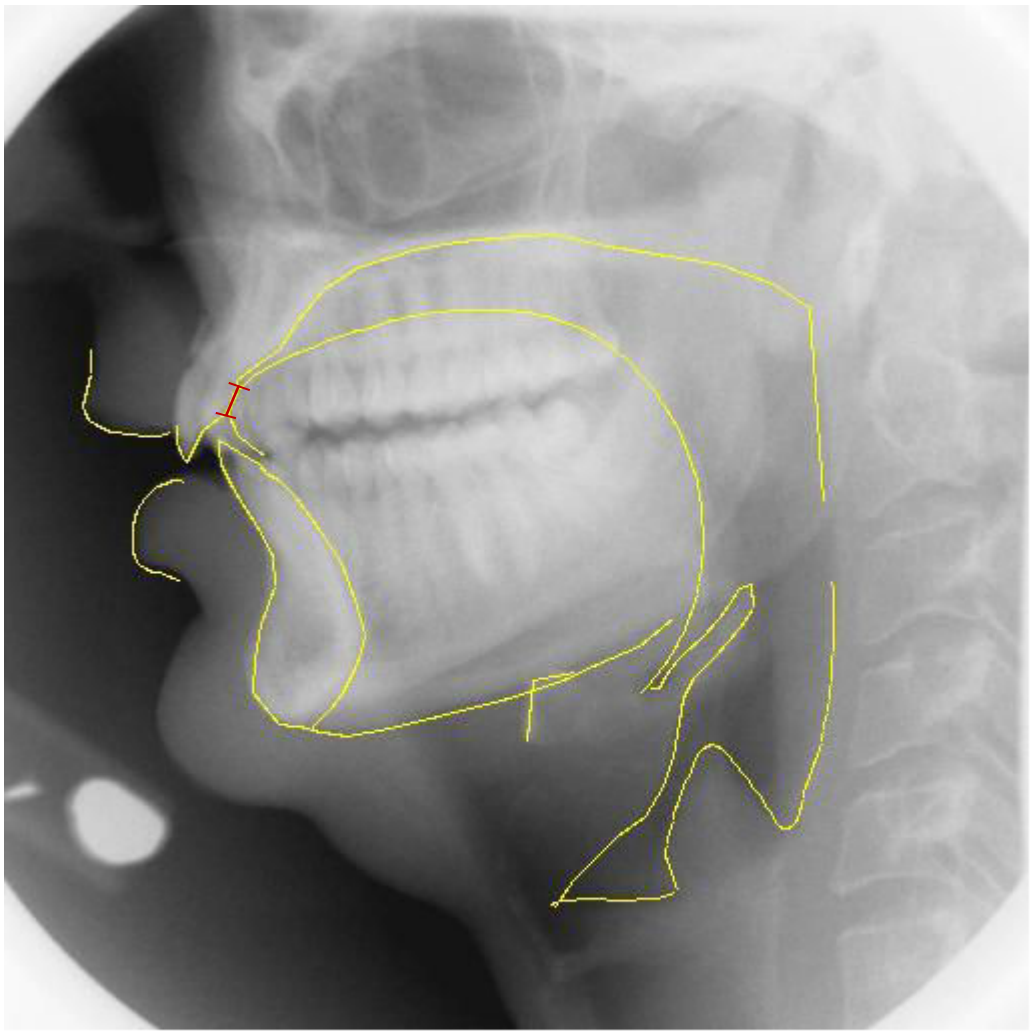


Figure 130 : Étendue de contact (/t/ =5mm) du locuteur F.

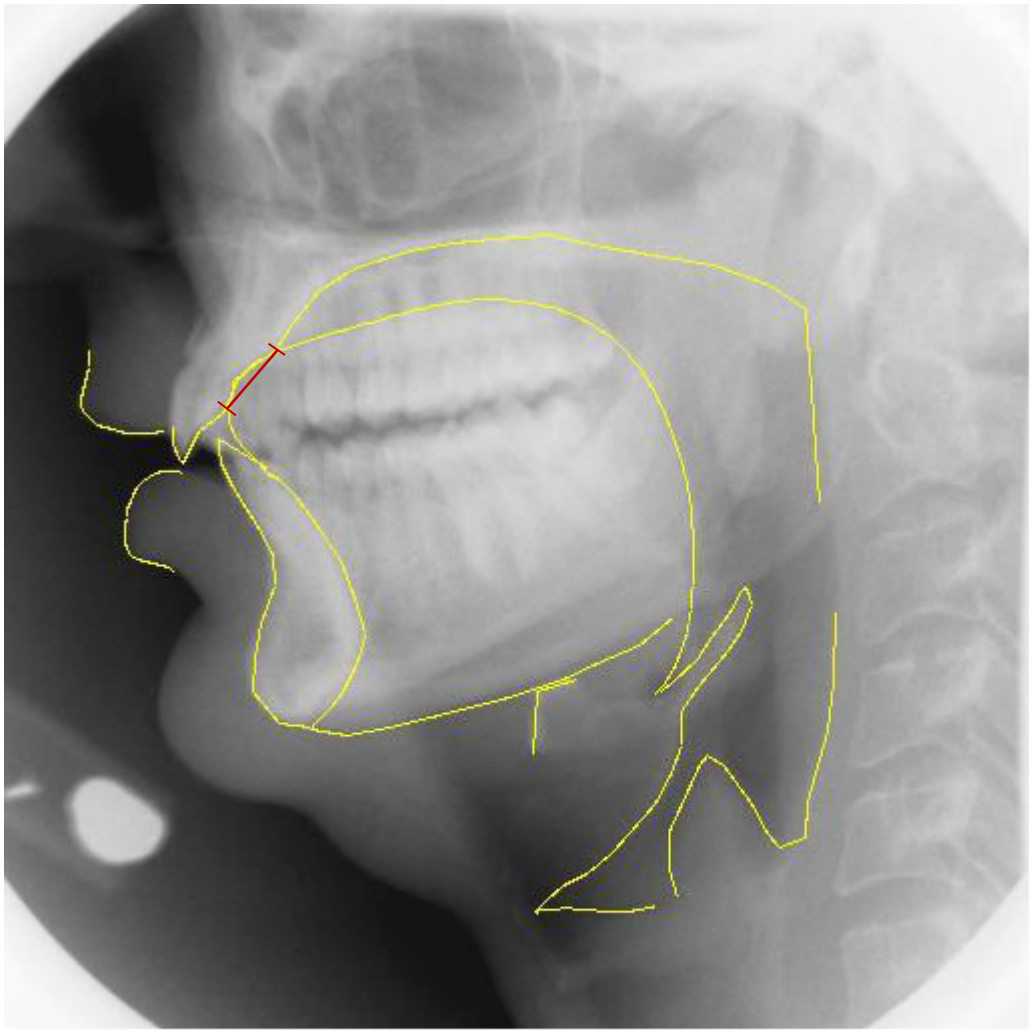


Figure 131 : Étendue de contact (/tt/ =11mm) du locuteur F.

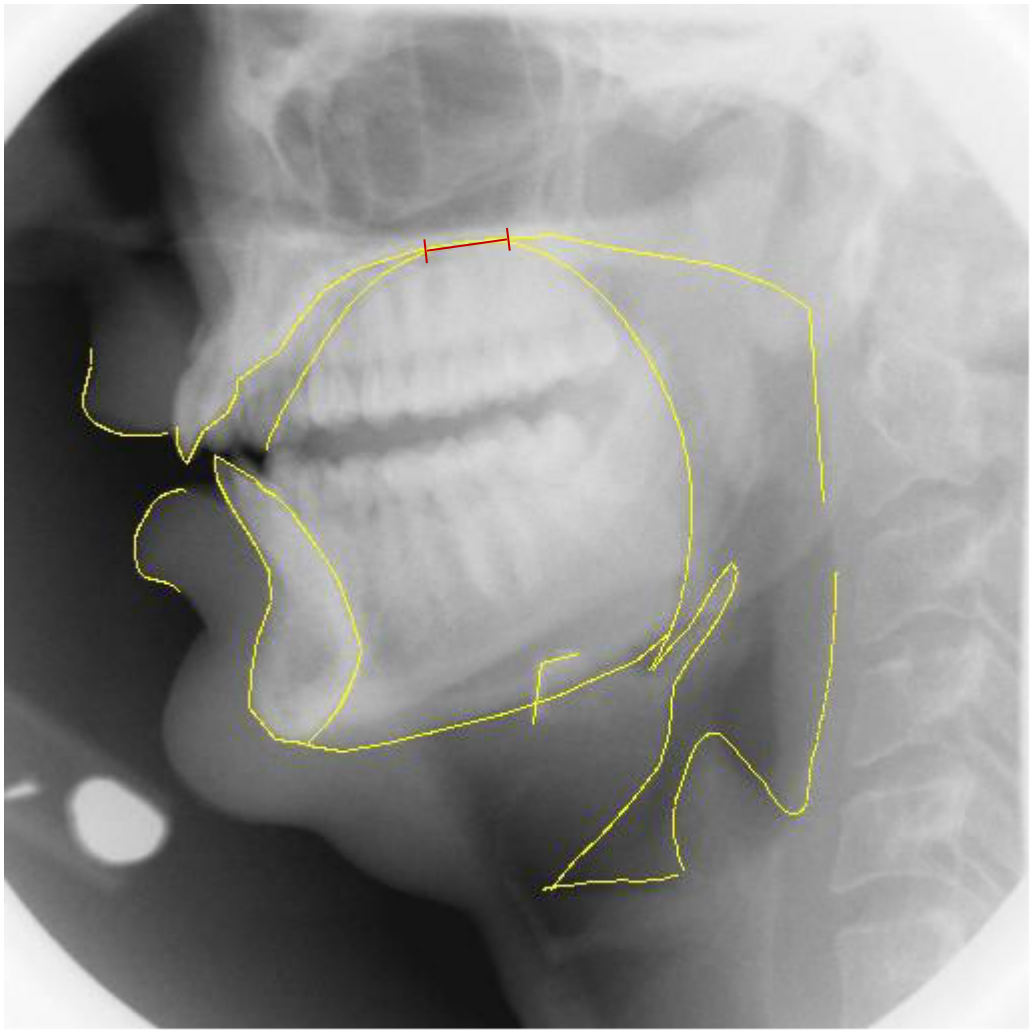


Figure 132 : Étendue de contact (/k/ =11mm) du locuteur F.

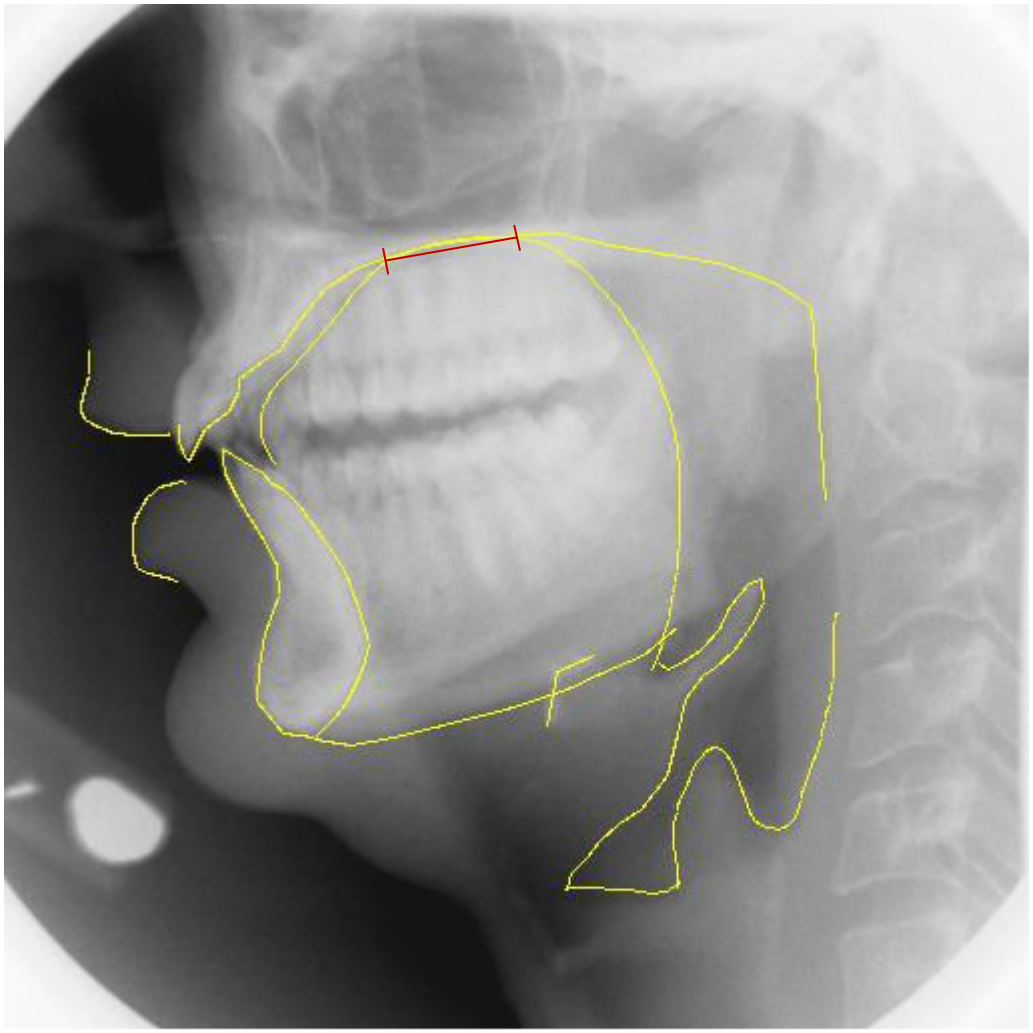


Figure 133 : Étendue de contact (/kk/ =18mm) du locuteur F.

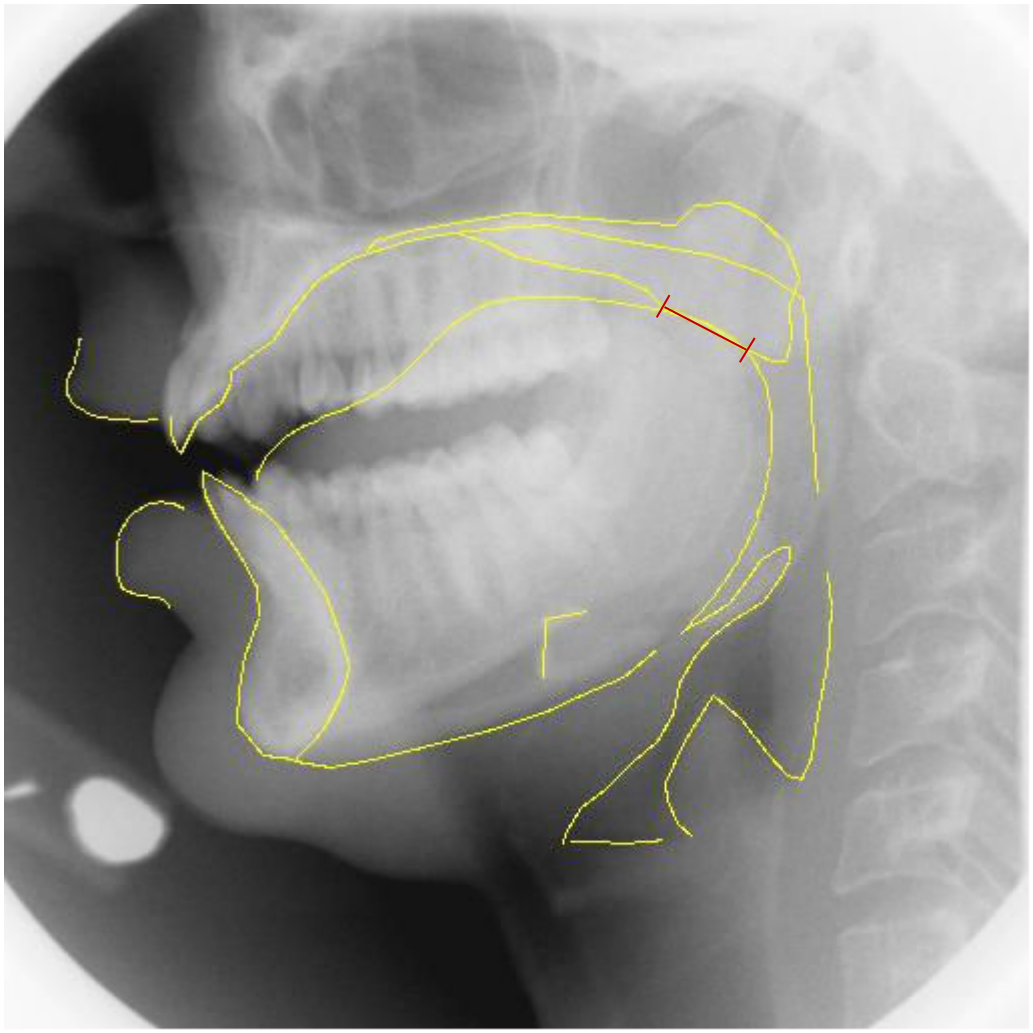


Figure 134 : Étendue de contact (/q/ =13mm) du locuteur F.

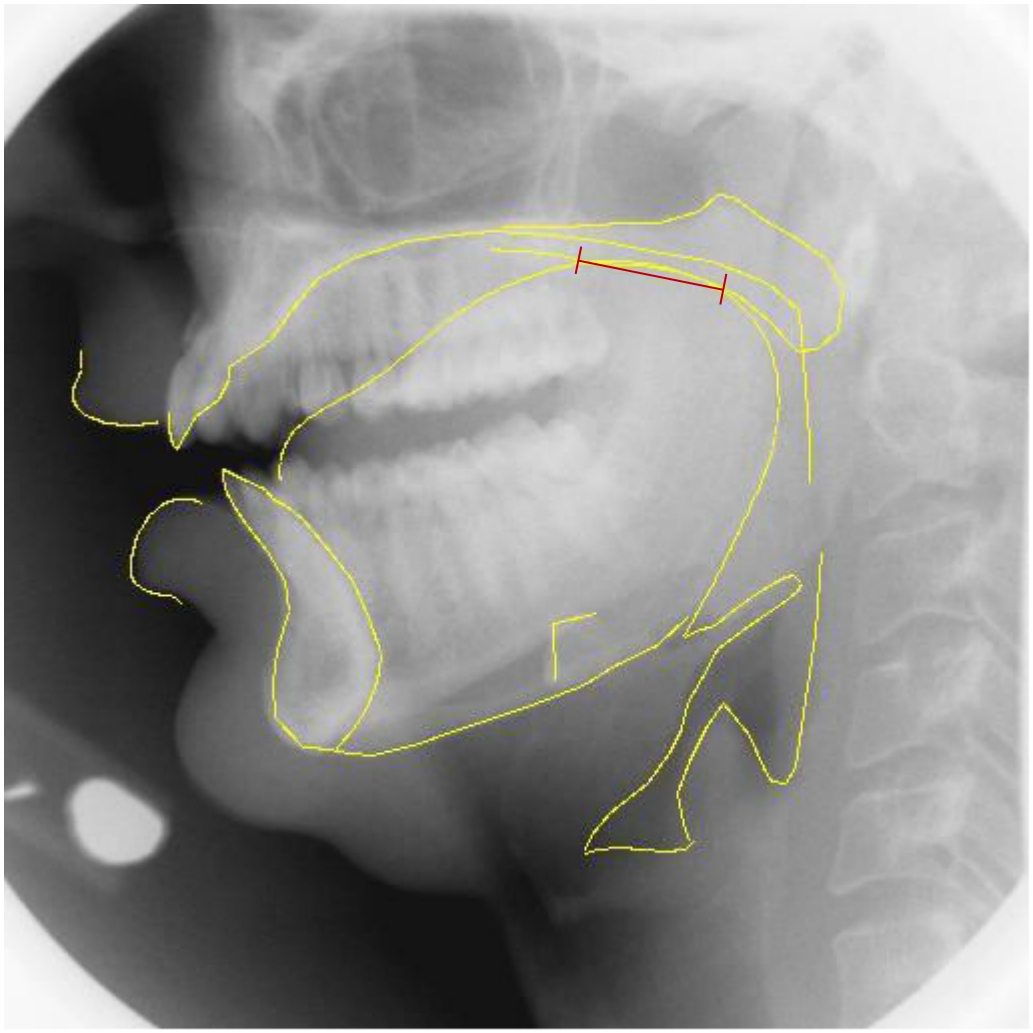


Figure 135 : Étendue de contact (/qq/ =20mm) du locuteur F.

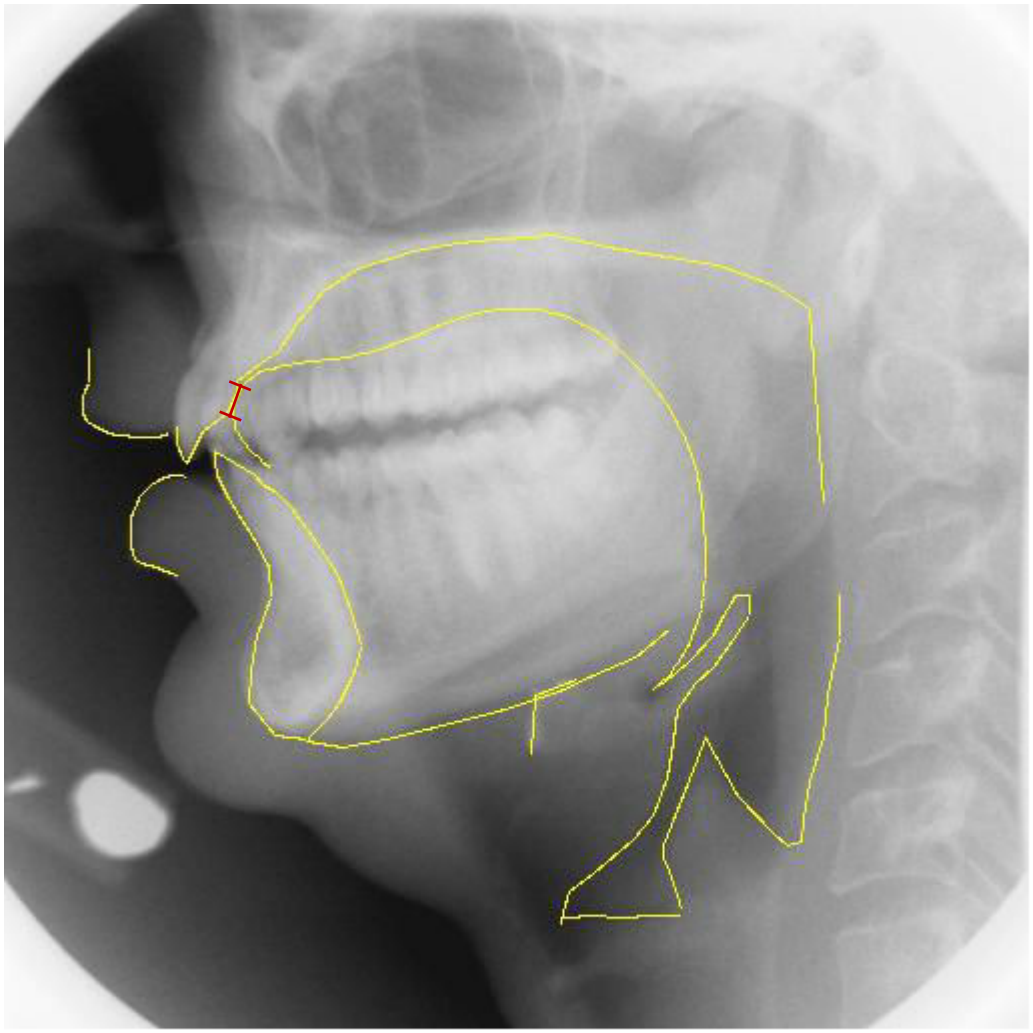


Figure 136 : Étendue de contact (/d/ =5mm) du locuteur F.

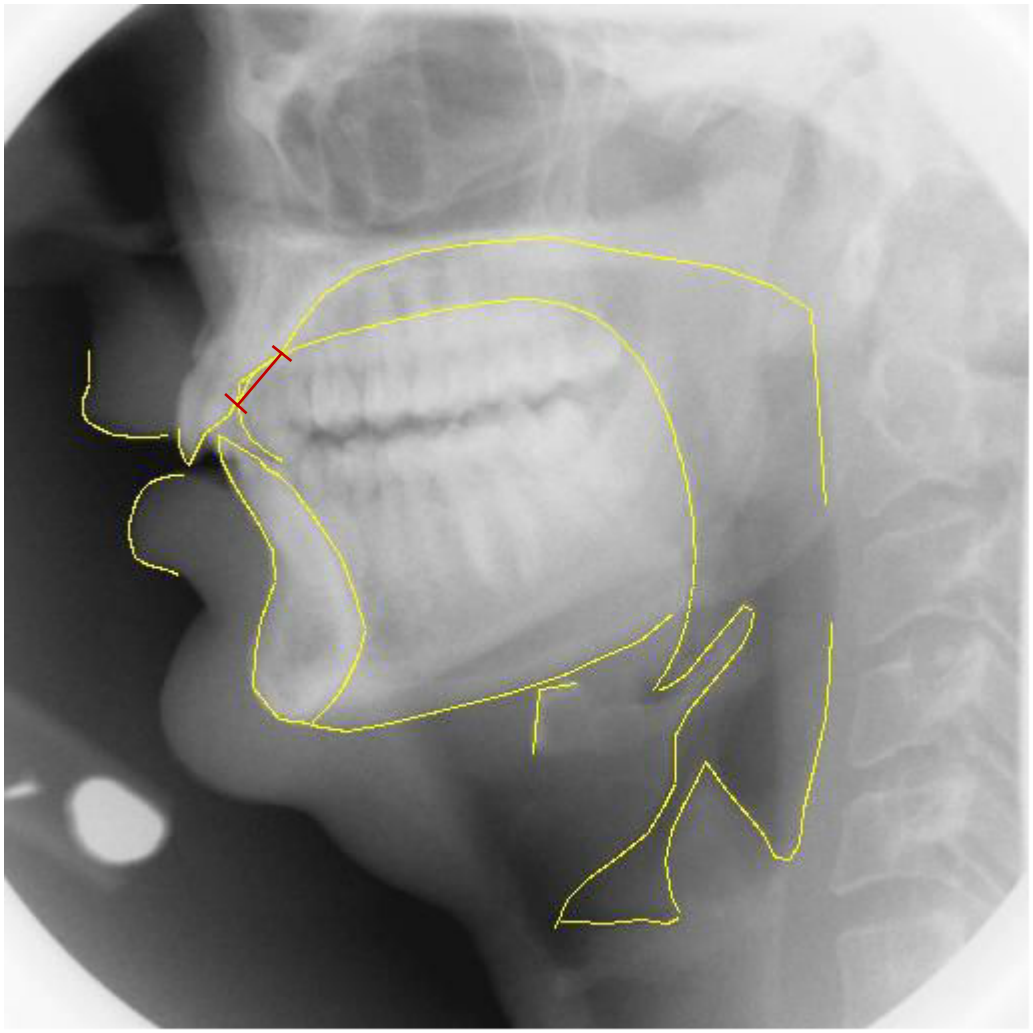


Figure 137 : Étendue de contact (/dd/ =10mm) du locuteur F.

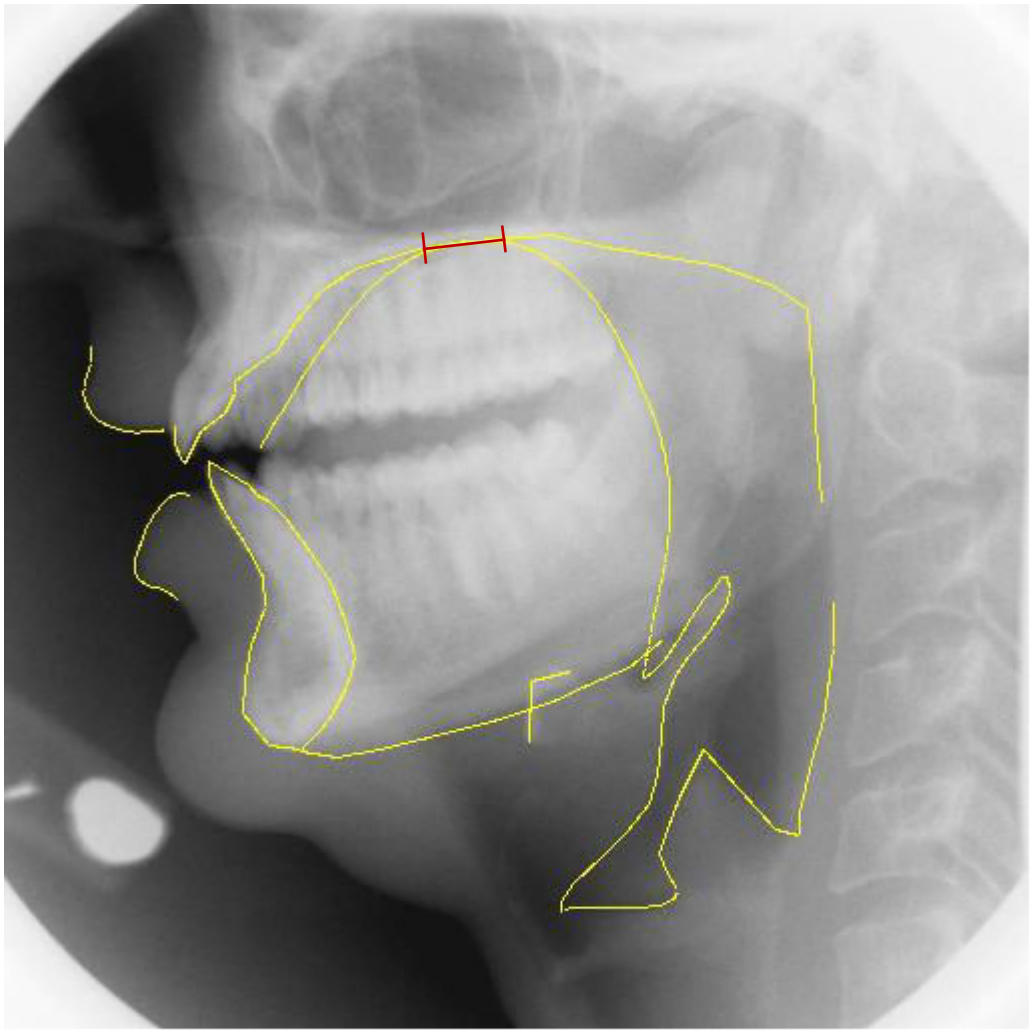


Figure 138 : Étendue de contact (/g/ =11mm) du locuteur F.

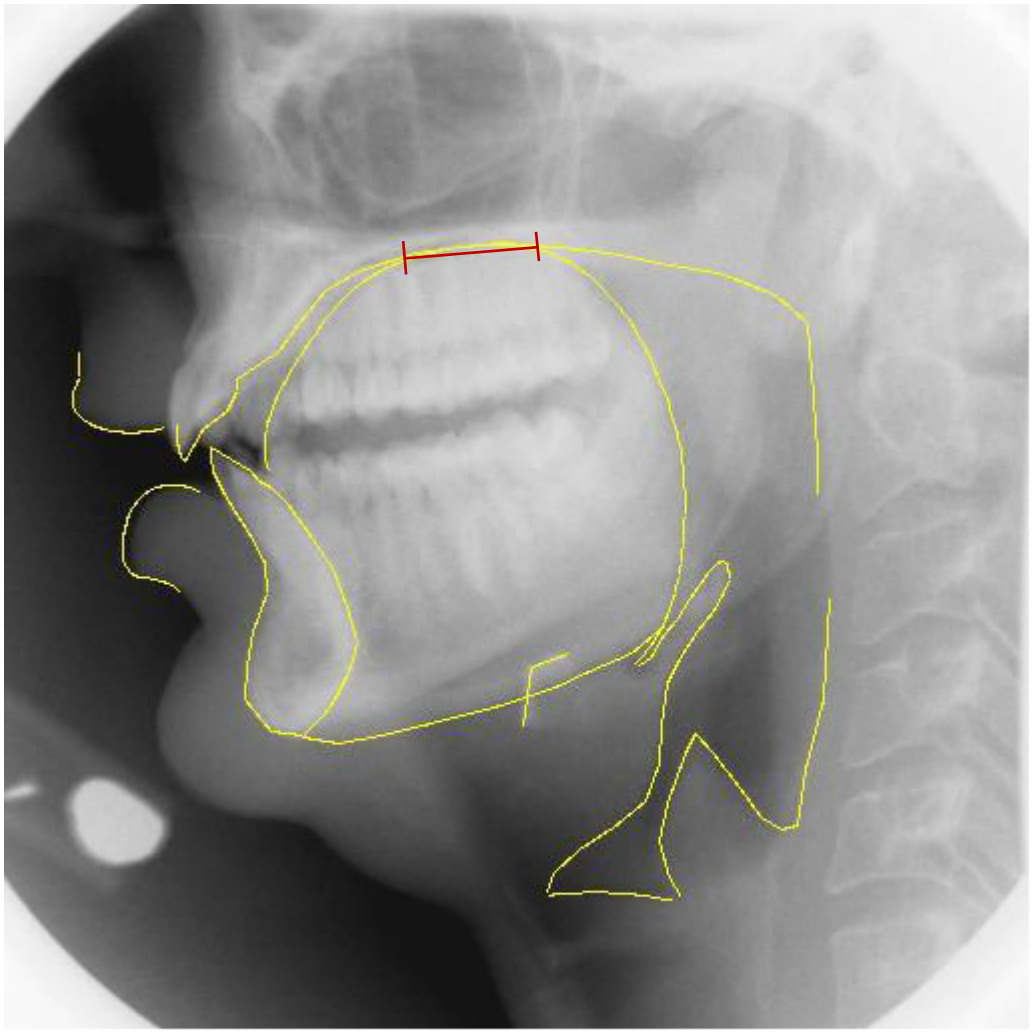


Figure 139 : Étendue de contact (/gg/ =18mm) du locuteur F.

Ce paramètre spatial est décidemment un candidat robuste pour distinguer les consonnes simples des géminées du tarifit, tout comme il l'a été pour distinguer les consonnes simples des doubles du français (Vaxelaire, 1995b).

Essayons maintenant de voir s'il existe certaines relations entre nos paramètres articulatoires et/ou articulatori-acoustiques.

12 Paramètres articulatoires et/ou articulatori-acoustiques

Relations entre paramètres articulatoires : étendue de contact / durée de la tenue articulatoire

La Figure 140 montre, en opposant les termes de chaque opposition phonologique, que la durée de la tenue articulatoire (ms) des occlusives sourdes géminées est plus longue que celle de leurs homologues simples, et cela est valable pour les deux locuteurs. On constate également que l'étendue de contact en millimètres (mm) des consonnes occlusives sourdes géminées est plus large que celle des simples, pour les deux locuteurs. On voit aussi que plus le contact est postérieur dans le conduit vocal, plus l'étendue de contact tend à être plus large, et cela est vrai pour les simples et pour les géminées (à l'exception de la consonne uvulaire du locuteur Kh ; voir Figure 140 à droite).

F Kh

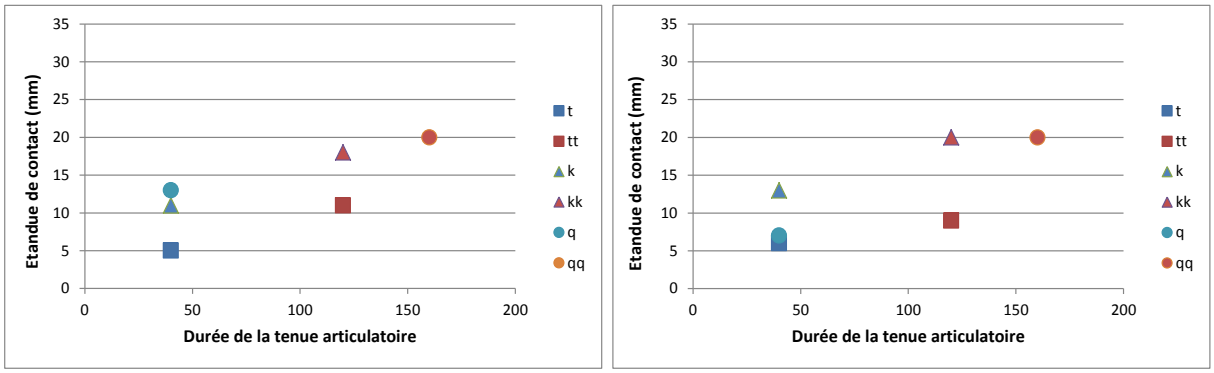


Figure 140 : Étendue de contact (mm) et la durée de la tenue articulatoire (ms) des occlusives sourdes en position intervocalique, pour le locuteur F, (à gauche) et Kh, (à droite).

Pour les consonnes sonores, la Figure 141 montre que la durée articulatoire (ms) des occlusives sonores géminées est plus longue que celle de leurs homologues simples, et cela est valable pour les deux locuteurs. L'étendue de contact des consonnes occlusives sonores géminées est encore plus large que celle des simples pour les deux locuteurs. On constate également que l'étendue de contact des vélaires est plus large que celle des alvéolaires, aussi bien pour les simples que pour les géminées, et ce pour les deux locuteurs.

Si l'on ne peut pas parler ici de corrélations entre ces deux paramètres articulatoires, au sens strict du terme, on observe néanmoins une sorte d'assignation de valeurs de base : à tenue articulatoire longue, une étendue de contact large, et *vice versa*.

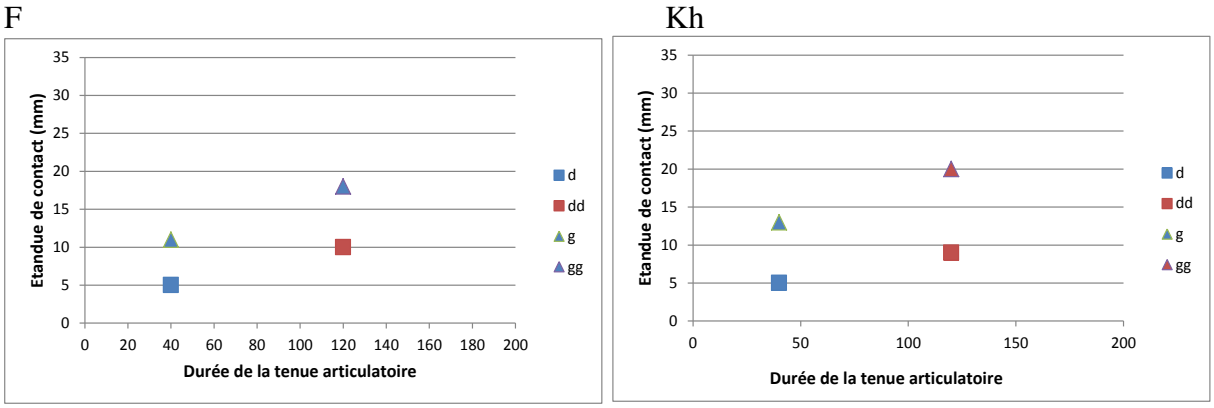


Figure 141 : Étendue de contact (mm) et la durée de la tenue articulatoire des occlusives sonores en position intervocalique pour le locuteur F (à gauche) et Kh (à droite).

La Figure 142 condense les résultats donnés ci-dessus. Elle montre que la durée articulatoire (ms) des occlusives sonores géminées est plus longue que celle de leurs homologues simples, pour les deux locuteurs et dans les trois positions (initiale, intervocalique et finale). Nous voyons aussi que l'étendue de contact des consonnes occlusives sourdes et sonores géminées, dans les trois positions de mot, ne permet pas une séparation globale entre nos deux classes phonologiques (simples/géminées). L'étendue de contact des géminées est plus large que celle des simples pour les deux locuteurs.

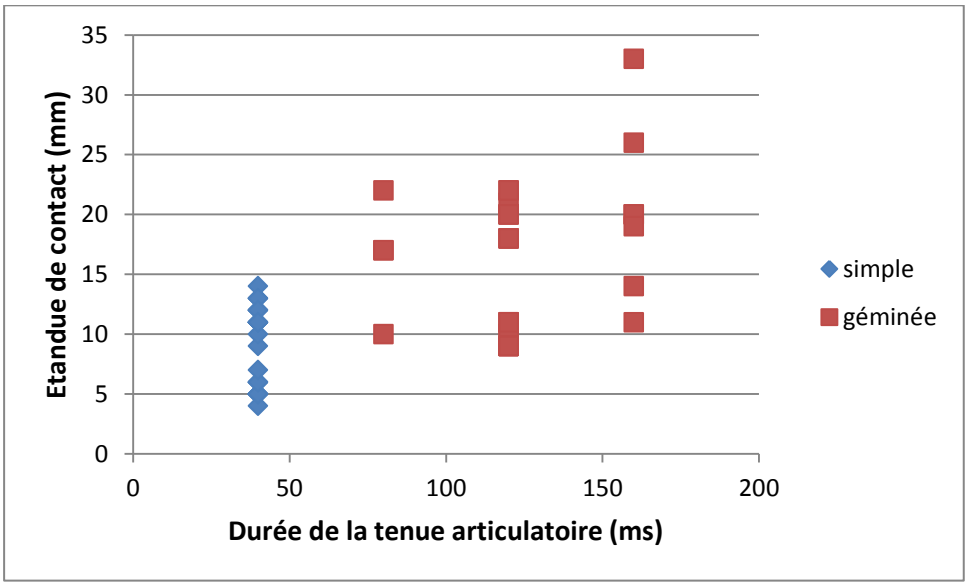


Figure 142 : Étendue de contact (mm) et la durée de la tenue articulatoire des occlusives sourdes et sonores en positions initiale, intervocalique et finale pour les locuteurs F et Kh.

Relations entre paramètres articulatori-acoustiques : étendue de contact / durée acoustique

Les Figure 143 et Figure 144 montrent que la durée acoustique (ms) des occlusives sourdes et sonores géminées est plus longue que celle de leurs homologues simples, et cela est valable pour les deux locuteurs. Quant à l'étendue de contact (mm), on constate qu'elle est plus large pour les consonnes occlusives sourdes et sonores géminées par rapport aux simples pour les deux locuteurs. Si nous avions signalé ces résultats auparavant, ce qui nous semble intéressant ici est de remarquer comment la combinaison des deux paramètres permet une nette distinction des termes de l'opposition phonologique.

F Kh

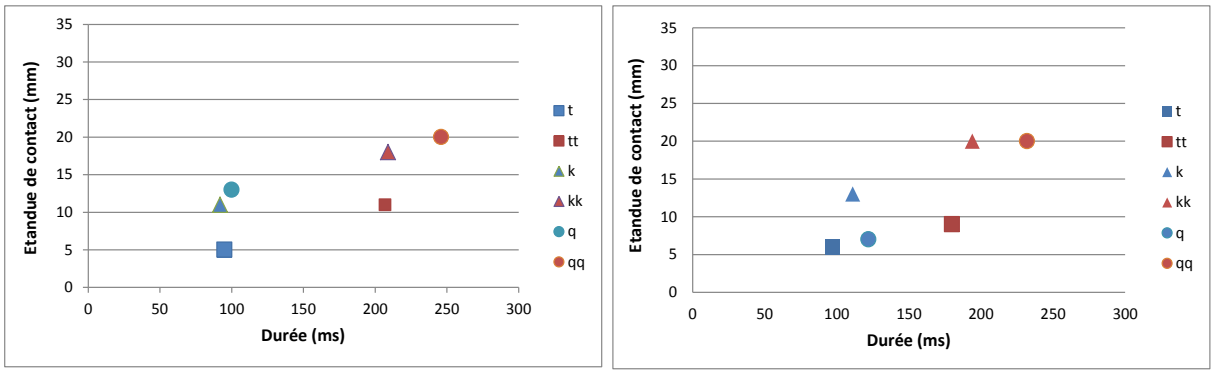


Figure 143 : Étendue de contact (mm) et la durée acoustique (ms) des occlusives sourdes en position intervocalique pour le locuteur F (à gauche) et Kh (à droite).

F Kh

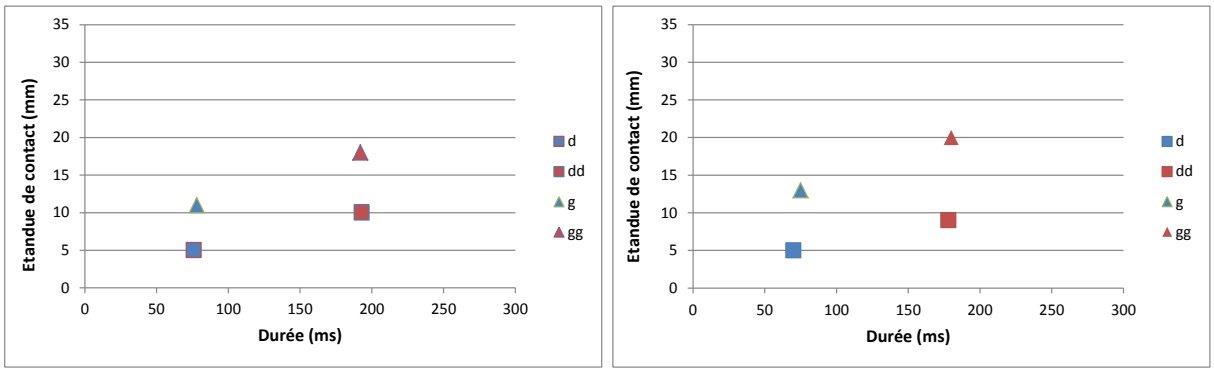


Figure 144 : Étendue de contact (mm) et la durée acoustique (ms) des occlusives sonores en position intervocalique pour le locuteur F (à gauche) et Kh (à droite).

La Figure 145 montre que la durée acoustique (ms) et la durée de la tenue articulatoire des occlusives sourdes géminées sont plus longues que celles de leurs homologues simples, et cela est valable pour les deux locuteurs.

Relations entre paramètres articulatori-acoustiques : tenue articulatoire / durée acoustique

L'examen des figures (Figure 145 à Figure 148) révèle que lorsque ces deux paramètres temporels sont combinés, ils possèdent une puissance notoire pour distinguer nettement les deux catégories phonologiques, aussi bien pour les consonnes non voisées que voisées, et autant pour les occlusives que pour les constrictives. Le phénomène phonologique de la gémination repose décidemment et prioritairement sur du substrat physique temporel.

F Kh

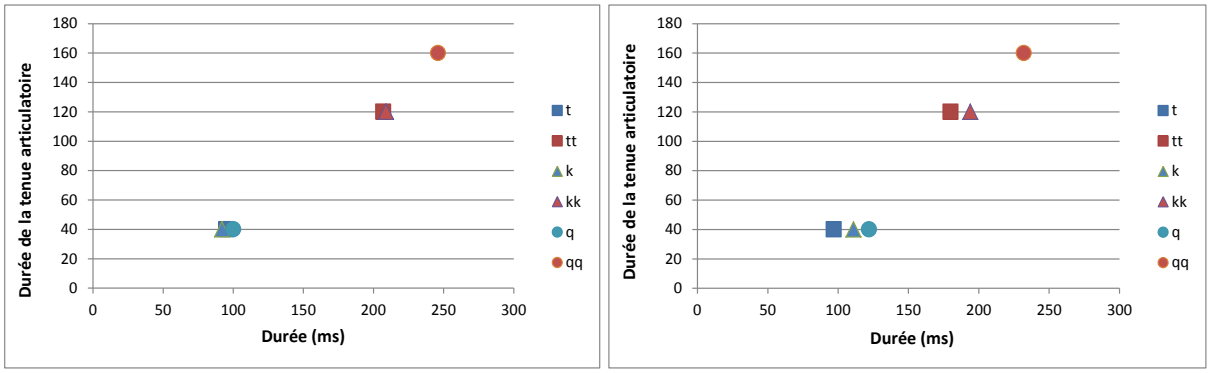


Figure 145 : Durée de la tenue articulatoire et la durée acoustique (ms) des occlusives sourdes en position intervocalique pour le locuteur F (à gauche) et Kh (à droite).

F Kh

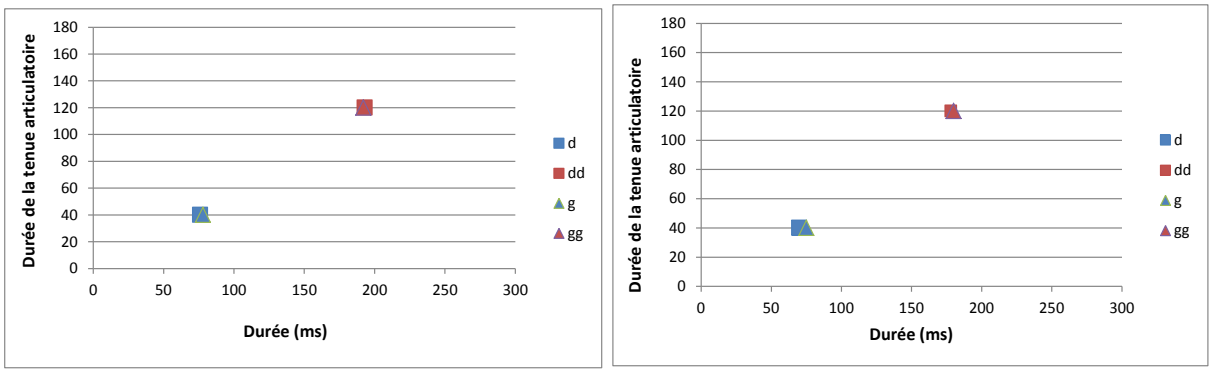


Figure 146 : Durée de la tenue articulatoire et la durée acoustique (ms) des occlusives sonores en position intervocalique pour le locuteur F (à gauche) et Kh (à droite).

F Kh

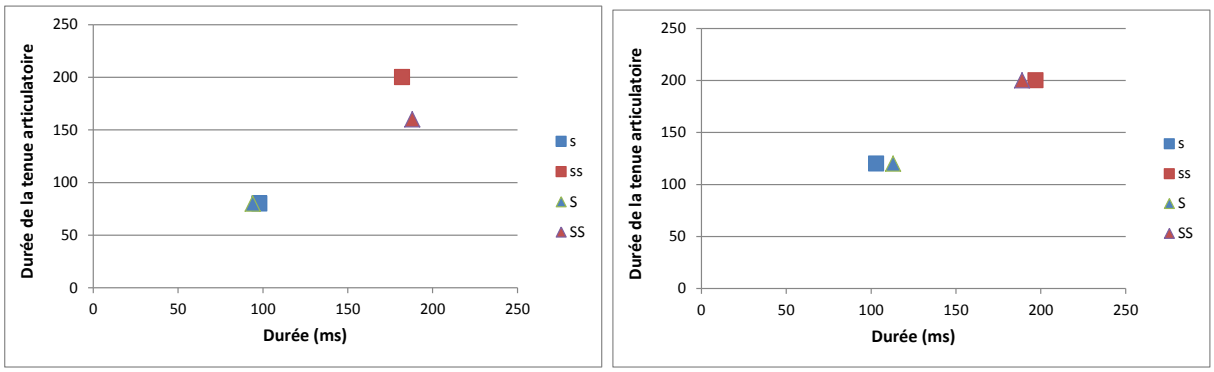


Figure 147 : Durée de la tenue articulatoire et la durée acoustique (ms) des constrictives sourdes en position intervocalique pour le locuteur F (à gauche) et Kh (à droite).

La Figure 148 montre que la durée acoustique (ms) et la durée de la tenue articulatoire des constrictives sonores géminées sont plus longues que celles de leurs homologues simples, et cela est valable pour les deux locuteurs.

F Kh

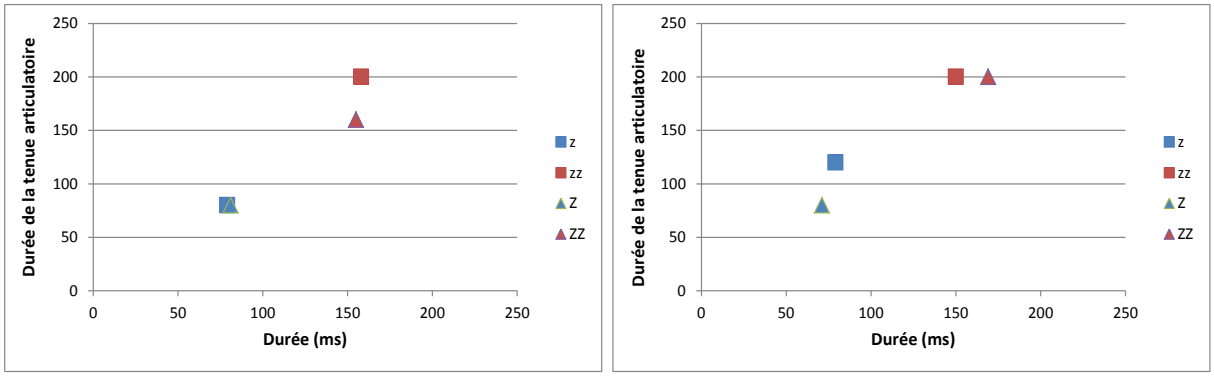


Figure 148 : Durée de la tenue articulatoire et la durée acoustique (ms) des constrictives sonores en position intervocalique pour le locuteur F (à gauche) et Kh (à droite).

L'analyse des vues de profil indique les résultats suivants en ce qui concerne l'étendue de contact (mm) : a) l'étendue de contact des occlusives est systématiquement plus importante pour les géminées que pour les simples ; b) l'étendue de contact augmente de la consonne alvéolaire, au vélaire (réalisée plutôt palatale ici), puis à l'uvulaire (à quelques rares exceptions près). Par rapport à la durée de la tenue articulatoire (ms), celle des occlusives et des constrictives géminées (voir Annexe pour ces dernières) est plus longue que celle de leurs homologues simples.

Au niveau de relations entre paramètres articulatoires, les données montrent une sorte d'assignation de valeurs de base : à tenue articulatoire longue, une étendue de contact large, et *vice versa*. Par rapport aux relations articulatori-acoustiques, on remarque que la combinaison de l'étendue de contact et de la durée acoustique des consonnes permet une nette distinction des termes de l'opposition phonologique. L'examen des données révèle que lorsque deux paramètres temporels sont combinés, à savoir la tenue articulatoire et la durée acoustique, ils possèdent une puissance notoire pour distinguer nettement les deux catégories phonologiques, aussi bien pour les consonnes non voisées que voisées, et autant pour les occlusives que pour les constrictives. Le phénomène phonologique de la gémination repose décidemment et prioritairement sur du substrat physique temporel.

Au terme de ces analyses articulatoires, nous allons maintenant proposer, dans la partie qui suit, une synthèse générale de notre travail, à savoir nos réflexions phonologiques et phonétiques, de tous nos résultats, acoustiques et articulatoires, le tout discuté dans le cadre de considérations théoriques présentées au début de cette étude.

13 Synthèse Générale et discussion

Ce travail s'est focalisé sur le parler du tarifit de la province de Nador, afin d'étudier la gémination dans cette variante du berbère, parlée au Maroc.

Au Maroc, on distingue trois grandes variétés du berbère parlées par environ 40% de la population. Les variétés en question sont :

- le tarifit, parlé dans le Nord et Nord-Est du Maroc ;
- le tamazight, parlé dans la zone Centre et Sud-Est du Maroc ;
- le tachelhit, parlé dans la zone Sud et Sud-Ouest du Maroc.

Le berbère se distingue par ses spécificités phonologiques, notamment par la gémination, la pharyngalisation, la labialisation et la spirantisation (constrictivisation) des occlusives (Chaker, 1984).

ETAT DE LA QUESTION

Un aperçu général du *système phonologique* du *tarifit*, c'est-à-dire l'inventaire consonantique et vocalique englobant toutes les consonnes et les voyelles des parlers du tarifit, en comparaison avec quelques autres variantes du berbère, est proposé. Nous avons aussi traité d'autres phénomènes, tels que la spirantisation des occlusives. Enfin, nous avons présenté les fonctions (a) lexicale, (b) morphologique, avec les changements qui surviennent dans le cas de l'aoriste et de l'inaccompli, du singulier et du pluriel, et (c) phonologique, avec le phénomène de l'assimilation.

Dans la *revue critique* de l'état de la question (Ridouane, 2003), nous avons tenté, d'abord, de montrer les différents arguments concernant la représentation des géminées en un seul segment ou en une suite de deux segments. Nous avons ensuite évoqué les débats contradictoires concernant les notions de tension et de gémination. En effet, dans le cadre de la phonologie CV, il existe deux représentations : la représentation X-slot et la représentation moraïque. La première est fondée sur la durée et la seconde sur le poids de la syllabe. Enfin, nous avons présenté les caractéristiques phonétiques et phonologiques des géminées en positions initiale et finale.

Rappelons que dans la phonologie CV (par ex. Leben, 1980), une géminée est représentée comme une seule unité mélodique associée à deux positions prosodiques. Les comportements des géminées, à savoir leur ambivalence, leur intégrité et leur inaltérabilité, ont été observées ; les traits suivants ont été retenus pour le tarifit : a) L'ambivalence : dans

certains cas les géminées se comportent comme si elles constituaient deux segments, et dans d'autres, comme si elles n'en constituaient qu'un seul. b) L'intégrité : dans la mesure où ils constituent deux segments, les segments longs ne peuvent pas être divisés par des règles d'épenthèses. c) L'inaltérabilité : l'échec de certains processus phonologiques à modifier les géminées lexicales, tout en affectant les simples et les « fausses » géminées.

Sur *le plan acoustico-perceptif*, nous avons mentionné quelques travaux (par ex. Ridouane, 2003 ; Abramson, 1987, 1998 ; Lahiri & Hankamer, 1988 ; Arvaniti & Tserdanelis, 2000, 2001 ; Kawahara, 2012), menés sur différentes langues qui possèdent la distinction simple / géminée, afin de dégager les indices acoustiques responsables de cette opposition. Plusieurs tests ont été effectués sur plusieurs paramètres comme la durée des voyelles adjacentes, la durée de l'occlusion, la durée du VOT, la durée des fricatives, l'amplitude du burst et la fréquence fondamentale de la voyelle suivante. Ces auteurs ont dégagé plusieurs indices qui permettent de distinguer les simples des géminées. La plupart des travaux cités trouvent que la durée de la tenue consonantique est l'indice principal pour distinguer les deux catégories. D'autres indices trouvés sur certaines langues restent secondaires.

Sur le *plan articulatoire* et *physiologique*, nous avons présenté quelques travaux (par ex. Vaxelaire, 1995b ; Ridouane, 2003 ; Ridouane, 2007 ; Farnetani, 1990 ; Byrd, 1995 ; Kraehenmann & Lahiri, 2008 ; Löfqvist, 2005 ; 2006 ; 2007 ; 2009) menés sur différentes langues qui possèdent la distinction simple / géminée, afin de dégager les indices articulatoires responsables de cette opposition. Différentes méthodes ont été testées sur le phénomène de la gémination aux niveaux glottique et supraglottique. La méthode fibroscopique permet de tester la durée et le degré d'ouverture glottale pendant la tenue des consonnes simples et des consonnes géminées. Quant à la méthode électromyographique, elle s'appuie sur le nombre de sommets des courbes pour distinguer les simples des géminées et pour vérifier si les géminées impliquent une ré-articulation ou non. En ce qui concerne la méthode électropalatographique, elle est utilisée pour déterminer la durée et l'étendue du contact entre la langue et le palais. Enfin, la méthode cinématique vise à observer les différents contacts et les différents mouvements des articulateurs, afin de comparer les consonnes simples aux consonnes géminées. Les principaux enseignements à tirer de telles investigations sont les suivants : a) une durée acoustique de la tenue consonantique plus longue pour les géminées ; b) des occlusions (contacts ou étendues de contact) plus longues pour les géminées ; c) une forte augmentation de la pression intraorale ; un mouvement de la langue de la première à la deuxième voyelle ayant une durée plus longue pour les consonnes longues que pour les brèves.

Dans le cadre du *paradigme* de la *perturbation* et des *réajustements*, plusieurs études ont examiné les consonnes simples et les consonnes géminées au niveau acoustique et au niveau articulatoire, en variant la vitesse d'élocution (*cf.* Gaitenby, 1965 ; Sock, 1998 ; Arvaniti, 1999 ; Pickett *et al.,* 1999 ; Amano & Hirata, 2010 ; Munhall & Löfqvist, 1992 ; Vaxelaire 1995.a et b). L'objectif est de vérifier l'impact de la vitesse d'élocution sur ces consonnes : la compressibilité, l'incompressibilité de certaines catégories et la résistivité de la gémination à l'augmentation de la vitesse d'élocution. Quelques résultats principaux montrent : a) lorsque la durée est l'indice principal pour une distinction catégorielle, il n'y a pas de chevauchement temporel qui survient entre les catégories, malgré une augmentation de la vitesse d'élocution ; b) le changement des rapports voyelle/consonne n'affecte pas systématiquement et de manière cohérente la perception des distinctions simples *vs.* géminées ; c) le ratio de la durée de la tenue des occlusives par rapport au mot était invariant et distingue clairement les deux catégories phonémiques.

METHODOLOGIE

Au niveau *méthodologique*, et sur le plan *acoustique*, nous avons pu définir les paramètres acoustiques qui permettraient de distinguer les consonnes simples des géminées. Nous avons enregistré six locuteurs. Chaque locuteur a prononcé, dans un ordre aléatoire, un corpus de 27 paires minimales, répété dix fois, d'abord en vitesse d'élocution normale, puis en vitesse d'élocution rapide. Le corpus comporte cinq paires d'occlusives : trois sourdes et deux sonores. Il comporte également quatre paires de constrictives : deux sourdes et deux sonores. Ces paires ont été introduites en trois positions de mot : initiale (non absolue), intervocalique, et finale (non absolue). Nous avons segmenté le signal acoustique et mesuré les paramètres (intersegmentaux et intrasegmentaux) suivants : a) la durée de la voyelle précédant la consonne cible, simple ou géminée ; b) la durée du VTT ; c) la durée de l'occlusion ou du silence acoustique ; d) la durée du VOT ; e) la durée de la friction ; f) la durée de la voyelle qui suit la consonne cible. Toutes ces mesures ont été soumises à des analyses statistiques.

Sur le plan articulatoire, nous avons extrait deux films sur le berbère du tarifit de la base de données de l'Institut de Phonétique de Strasbourg pour la présente étude. Les radiofilms fournissent une information dans le plan sagittal de la position et des déplacements d'un certain nombre d'articulateurs tels que les lèvres, la mâchoire, la langue, le voile du palais, le pharynx, l'os hyoïde et le larynx. Par rapport aux films de cette investigation, le logiciel *X-Articulator* nous a permis d'obtenir le contour des différents articulateurs de manière

automatique ou semi-automatique. Nous avons retenu les paramètres articulatoires suivants : a) l'ouverture de la constriction ; b) La constriction pharyngale ; c) l'aperture labiale ; d) la position du larynx ; e) la position de l'os hyoïde ; f) l'étendue de contact.

RESULTATS EXPERIMENTAUX

DONNEES ACOUSTIQUES ABSOLUES

Au niveau acoustique, les *données absolues* reposent sur les mesures suivantes : a) la durée des consonnes simples et géminées dans trois positions : intervocalique, initiale non absolue et finale non absolue, produites à deux vitesses d'élocution, normale et rapide ; b) les durées intersegmentales pour les consonnes simples et géminées dans les trois positions citées ci-dessus ; c) les durées intrasegmentales des occlusives sourdes et sonores en vitesse d'élocution normale et rapide (ces durées intrasegementales ont été prélevées pour les sourdes en position intervocalique, en initiale et finale non absolue, et uniquement en position intervocalique et initiale non absolue pour les sonores).

Les *résultats* dans le *domaine intersegmental* montrent, pour toutes les consonnes, simples et géminées, produites en vitesse d'élocution normale ou rapide, que la durée de la tenue consonantique est l'indice principal qui permet de les distinguer (conformément à *l'Hypothèse n° 1*). Ce résultat corrobore ceux attestés dans la littérature (voir par ex. Ridouane, 2003, 2007 ; Abramson, 1987, 1998 ; Lahiri & Hankamer, 1988). La durée des voyelles adjacentes ne contribue pas à l'opposition phonologique de la gémination (*l'Hypothèse n° 2* n'est pas vérifiée). Nos données pour le tarifit ne correspondent pas à celles de McKay (1980) sur le rembarrnga (langue nord-australienne), qui ont démontré que les voyelles sont plus courtes devant les géminées que devant les simples. Elles ne correspondent pas non plus à celles de (Campbell, 1999 ; Fukui, 1987 ; Han, 1994 ; Hirata, 2007 ; Hirose & Ashby, 2007 ; Idemaru & Guion, 2008 ; Kawahara, 2006 ; Ofuka, 2003 ; Port *et al.*, 1987 ; Takeyasu, 2012), qui ont montré que les voyelles sont plus longues devant les géminées que devant les simples (cité par Kawahara (2012)).

En revanche, elles confirment celles attestées par (Ridouane, 2003, 2007 ; Abramson, 1987, 1998 ; Lahiri & Hankamer, 1988). Dans le domaine *intrasegmental*, l'analyse a permis de conclure que la durée du silence acoustique est le corrélat principal qui permet de distinguer les occlusives sourdes simples de leurs homologues géminées (*l'Hypothèse n° 3* est vérifiée). Pour les occlusives sonores simples et géminées, c'est la durée de l'occlusion qui sert à distinguer les deux catégories (*ce qui est conforme à l'Hypothèse n° 4*). Le VOT n'intervient pas la séparation des catégories phonologiques (ce qui va à l'encontre de

l'Hypothèse n° 5). Il en va de même du VTT qui ne permet pas (*Hypothèse n° 6*) de séparer les occlusives sourdes simples des géminées. La compression des segments, provoquée par l'augmentation de la vitesse d'élocution, ne nuit pas au maintien du contraste phonologique (*l'Hypothèse n° 7* est confirmée). Pour conclure, nous posons que la tenue consonantique est un indice absolu et universel pour discriminer les simples des géminées.

DONNEES ARTICULATOIRES

L'analyse des données de nos deux locuteurs, Kh et F, pour les séquences VCV, où la consonne est une *occlusive sourde* ou *sonore*, révèle que nos paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale sont de bons candidats pour l'étude de l'organisation spatiotemporelle de la production de la consonne simple et de son homologue géminée, aussi bien dans le contexte apical que vélaire et uvulaire (pour les sourdes). La trajectoire de ces trois paramètres, dans les configurations consonantiques cibles, est structurellement similaire entre la simple et la géminée.

Au niveau spatial, si la réduction de l'ouverture de la constriction pour réaliser les contacts apical et vélaire est toujours positivement « corrélée » avec la réduction de l'aperture labiale, ces deux derniers paramètres sont inversement « corrélés » avec la constriction pharyngale ; celle-ci augmente lorsque les deux autres paramètres diminuent. Pour ce qui concerne la consonne uvulaire /q/, en revanche, la constriction pharyngale diminue en même temps que l'ouverture de la constriction, alors que l'aperture labiale, elle, reste relativement stable. Nous posons, au vu de ces résultats, que l'augmentation de la taille de la constriction au niveau de la cavité pharyngale, aussi bien lors de la production de la consonne simple que de son homologue géminée, n'est pas nécessairement attribuable au geste de protrusion de la langue, vers la partie frontale de la cavité buccale, dans la réalisation du contact apical. En effet, cette augmentation de la taille de la cavité pharyngale est aussi clairement visible en contexte vélaire, un contexte qui ne favorise pas particulièrement une avancée de la masse linguale. On peut donc, dans ce cas, supposer l'existence d'un geste typiquement consonantique (Hypothèse n° 2), avec la taille d'une constriction pharyngale spécifique, et un autre geste typiquement vocalique, ayant une constriction pharyngale réduite, intrinsèque à la voyelle radico-pharyngale /a/. Reste maintenant à vérifier cette supposition à partir d'observations en contextes vocaliques d'une voyelle antérieure, telle que le /i/, par exemple.

Par rapport au timing de ces trois paramètres articulatoires, il est évident que c'est le contact alvéolaire, vélaire et uvulaire, plus long pour la géminée, qui est le paramètre préférentiel de la distinction phonologique simple *vs.* géminée (Hypothèse n° 1). Dans le cas

des consonnes alvéolaires et vélaires, ce contact est accompagné de l'augmentation de la constriction pharyngale et de la réduction de l'aperture labiale, qui durent plus longtemps pour la géminée comparée à la simple, pendant l'occlusion. Le contact uvulaire, lui, est accompagné d'une réduction de la constriction pharyngale, qui a une durée plus longue pour les géminées, comparées aux simples. L'aperture labiale, pour l'uvulaire, reste relativement stable tout au long de la production de la séquence VCV.

Toujours au niveau du timing articulatoire, nous avons constaté que les gestes anticipatoires, pour produire les consonnes cibles, simples ou géminées, sont initiés plus précocement durant la production de la voyelle précédente. Cette stratégie anticipatoire est encore plus précoce pour les géminées, comparées aux consonnes simples Delattre (1971) en contextes alvéolaire et vélaire. Nous avons vu aussi, dans les contextes apical et vélaire, la mise en place d'une stratégie de coarticulation rétentrice au service de la réalisation de la gémination, afin de marquer le contraste temporel entre les deux termes de l'opposition phonologique. Cette dernière conduite motrice n'est pas généralisable en contexte uvulaire (Hypothèse n° 4).

Par rapport aux *constrictives sourdes* et *sonores*, l'examen des trajectoires de nos trois paramètres articulatoires dans les contextes révèle des comportements clairs et généralisables.

Au niveau spatial, l'agrandissement du pharynx lors de la réalisation de la consonne, observé pour les occlusives, se confirme ici pour les constrictives, même si le constat est moins prononcé et moins systématique pour les consonnes simples (Hypothèse n° 2). L'aperture labiale diminue ou reste stable en même temps que la réduction de la constriction alvéolaire.

Au niveau du timing des gestes, la constriction maximale dure plus longtemps pour les géminées que pour les simples, et cela de façon remarquable (Hypothèse n° 1). La diminution de l'aperture labiale, durant le maintien de la constriction alvéolaire maximale dure, elle aussi, plus longtemps pour les géminées que pour les simples.

Les gestes anticipatoires sont plus nets lors des transitions de voyelles à consonnes que des transitions des consonnes cibles aux voyelles suivantes. C'est grâce à ces stratégies de persévération des gestes associés aux configurations fermantes du conduit vocal pour les géminées que les différences temporelles entre consonnes simples et consonnes géminées sont maximisées (Hypothèse n° 4).

En ce qui concerne le niveau laryngal, nous avons remarqué une similarité entre les trajectoires du larynx et de l'os hyoïde à travers nos différentes séquences, ainsi qu'une

ressemblance structurelle des trajectoires, quels que soient les contextes consonantiques, les positions des séquences cibles dans les mots et les locuteurs. Ce couplage étroit observé entre le couple larynx-os hyoïde se confirme même si la « corrélation » entre les trajectoires de ces deux structures est obtenue à partir de leur déplacement vertical respectif. Rappelons que Vaxelaire et Sock (1997) obtiennent, eux, des corrélations relativement élevées entre le déplacement vertical du larynx et la composante horizontale du mouvement diagonal de l'os hyoïde.

Nous avons trouvé que le contrôle spatiotemporel du geste du larynx et de celui de l'os hyoïde était comparable entre les consonnes simples et les consonnes géminées (Hypothèse n° 5 n'est pas confirmée). Le mouvement de l'ensemble larynx-os hyoïde est inversement corrélé avec le déplacement vertical de la masse de la langue et, en conséquence, avec l'aperture vocalique. Ainsi, nos données rejettent elles aussi « l'hypothèse tongue-pull » (*tongue-pull hypothesis*). L'analyse du déplacement vertical de l'ensemble larynx-os hyoïde ne permet pas de déceler un comportement qui serait à lier avec des oppositions consonantiques phonologiques sourdes *vs.* sonores. Cette affirmation devrait toutefois être nuancée étant donné que le contexte adjacent n'est pas comparable.

Les trajectoires des structures supraglottiques et celles des structures glottiques restant comparables quels que soient les contextes et les locuteurs, nous ne pouvons pas affirmer que les structures glottiques soient plus résistantes.

De manière générale, nous ne trouvons pas de spécificités spatiotemporelles par rapport aux locuteurs (contrairement à l'Hypothèse n° 3).

L'analyse des vues de profil indique les résultats suivants en ce qui concerne l'étendue de contact (mm) : a) l'étendue de contact des occlusives est systématiquement plus importante pour les géminées que pour les simples ; b) l'étendue de contact augmente de la consonne apical, à la vélaire (réalisée plutôt palatale ici), puis à l'uvulaire (à quelques rares exceptions près). Par rapport à la durée de la tenue articulatoire (ms), celle des occlusives et des constrictives géminées est plus longue que celle de leurs homologues simples.

Au niveau des relations entre paramètres articulatoires, les données montrent une sorte d'assignation de valeurs de base : à tenue articulatoire longue, une étendue de contact large, et *vice versa*. Par rapport aux relations articulatori-acoustiques, on remarque que la combinaison de l'étendue de contact et de la durée acoustique des consonnes permet une nette distinction des termes de l'opposition phonologique. L'examen des données révèle que lorsque deux paramètres temporels sont combinés, à savoir la tenue articulatoire et la durée

acoustique, ils possèdent une puissance notoire pour distinguer nettement les deux catégories phonologiques, aussi bien pour les consonnes non voisées que voisées, et autant pour les occlusives que pour les constrictives. Le phénomène phonologique de la gémination repose décidemment et prioritairement sur du substrat physique temporel.

Nous avions fait varier le voisement en supposant que ce trait puisse avoir quelques impacts sur l'opposition phonologique. Il s'agissait pour nous d'avoir une idée globale sur la question, sachant que nous n'avions pas de paires minimales pouvant nous permettre de tirer des conclusions sûres relatives à cette question. Globalement, il nous semble que le voisement n'ait pas d'influences sur le contrôle spatiotemporel de la gémination, et cela à partir de l'examen de nos paramètres acoustiques et articulatoires.

Nous avons également voulu observer le comportement de nos classes phonologiques dans différentes positions de mot afin de tester la robustesse du trait de la gémination suivant cette variation du contexte. De manière générale, le trait phonologique reste fonctionnel dans les trois positions, avec des patterns acoustiques et articulatoires comparables entre simples et géminées.

Nous allons, dans le chapitre suivant, exposer nos remarques conclusives, ainsi que quelques perspectives.

14 Conclusions et perspectives…

Nous avons étudié, dans cette thèse, le phénomène phonologique de la gémination dans le berbère du tarifit parlé au Maroc, dans la province de Nador.

L'étude repose sur des investigations acoustiques et articulatoires, menées majoritairement dans le domaine temporel. Ces investigations sont précédées de considérations phonologiques sur le statut de la gémination, non seulement dans certaines variantes du berbère attestées dans la littérature, mais aussi dans certaines langues qui connaissent ce trait phonologique.

Un certain nombre d'hypothèses a été formulé, aussi bien dans le domaine acoustique que dans le domaine articulatoire. Il s'agissait essentiellement d'identifier des indices acoustiques et articulatoires potentiels qui pourraient sous-tendre le trait phonologique de la gémination. Nous proposons de rappeler ici ces hypothèses, et de voir dans quelle mesure celles-ci ont été confirmées ou infirmées par les résultats de nos investigations.

Sur le plan acoustique, nous tentons maintenant de donner des réponses concises aux hypothèses suivantes que nous avions formulées :

Hypothèse n° 1 : La gémination étant un fait phonologique temporel de quantité consonantique, il est tout-à-fait cohérent de s'attendre à des différences de durées consonantiques, plus longue pour les géminées que pour les simples.

Réponse n° 1 : Effectivement, la tenue consonantique a été systématiquement plus longues pour les géminées que pour les simples, tous locuteurs, contextes consonantiques et conditions de vitesse d'élocution confondus.

Hypothèse n° 2 : Des faits phonologiques reposant habituellement sur des dimensions pluri-indicielles, nous pensons que la ou les voyelles adjacentes pourraient contribuer à renforcer le trait phonologique de la gémination.

Réponse n° 2 : Le contexte adjacent ne semble pas contribuer à la distinction entre simples et géminées sur la dimension temporelle (et pas plus sur la dimension fréquentielle, Bouarourou, 2006).

Le silence acoustique pour les sourdes (*Hypothèse n° 3*) et l'occlusion consonantique pour les sonores (*Hypothèse n° 4*), deux intervalles intrasegmentaux consonantiques, devraient sous-tendre l'opposition phonologique de la gémination, en tant qu'indices de renfort du trait potentiellement principal de la tenue consonantique.

Réponses n° 3 et 4 : Ces deux hypothèses ont été vérifiées, soulignant ainsi le caractère temporel de la gémination en tant que fait phonologique.

Hypothèse n° 5 : Nous pensons, comme précisé auparavant, que l'opposition entre consonnes simples et géminées, qui pourrait reposer aussi sur des différences de pression intra-orale durant la tenue consonantique, et également sur des différences de changement de la pression d'air au relâchement, aurait une incidence sur la durée du VOT ; la durée du VOT des géminées devrait, en conséquence, être plus longue que celle des simples.

Réponse n° 5 : Nous n'avons pas observé de différences de durée de VOT entre simples et géminées, ce qui laisse penser que des différences éventuelles de pression intra-orale entre les deux catégories n'ont pas été suffisamment importantes pour avoir des conséquences acoustiques. D'ailleurs, ce constat semble être conforté par nos données articulatoires qui ne révèlent pas de différences de position du larynx, entre simples et géminées (voir *infra*).

Hypothèse n° 6 : Il est probable que le VTT des simples soit plus long que celui des géminées, étant donné que plus la tenue consonantique est brève, plus la proportion du délai d'arrêt du voisement dans cette tenue risque d'être élevée.

Réponse n° 6 : La durée du VTT reste comparable pour les deux classes phonologiques, ce qui indique que le voisement ne « déborde » pas dans la phase silencieuse de la tenue consonantique, au risque de mettre à mal l'opposition de sonorité qui est pertinent en tarifit.

Hypothèse n° 7 : Le signal de parole étant intrinsèquement élastique, tous les segments devraient subir une compression avec l'augmentation de la vitesse d'élocution, ce qui ne devrait pas empêcher les catégories oppositives de rester distinctes, afin de préserver l'opposition phonologique de la gémination.

Réponse n° 7 : En effet, la compression provoquée par l'augmentation de la vitesse d'élocution concerne tous les segments. Malgré cette compression, nos catégories restent distinctes.

Au niveau articulatoire, nous apportons des réponses aux hypothèses suivantes que nous avions avancées :

Hypothèse n° 1 : La gémination relevant du domaine phonologique de la quantité consonantique, les différences de durée entre les consonnes géminées et les consonnes simples, observées sur le plan acoustique, devraient ici aussi être visibles prioritairement au niveau du *contrôle temporel* des paramètres articulatoires retenus pour cette investigation. Il

est ainsi probable que l'on trouve des différences de durée des occlusions et de durée des constrictions, entre consonnes simples et leurs homologues géminées.

Réponse n° 1 : Cela a été confirmé, puisque les occlusions articulatoires, la tenue des constrictions articulatoires ont toutes été systématiquement plus longues pour les géminées que pour les simples.

Hypothèse n° 2 : Il est tout-à-fait loisible de croire que les différences temporelles entre les catégories phonologiques, géminées *vs.* simples, pourraient être accompagnées de différences au niveau des déplacements d'articulateurs critiques, soit dans la *dimension spatiale*.

Réponse n° 2 : Des caractéristiques articulatoires spatiales, attribuables aux configurations consonantiques fermantes des consonnes cibles, ont certes été décelées mais seule l'étendue de contact permet de manière robuste de séparer les simples des longues.

Hypothèse n° 3 : Des différences spatiotemporelles entre nos deux locuteurs pourraient être observées dans cette investigation, si l'on prend en compte les facteurs liés généralement aux spécificités du locuteur.

Réponse n° 3 : Si nous avons pu observer ici et là quelques caractéristiques spatiotemporelles individuelles, elles restent insignifiantes et inconsistantes. De manière globale, l'on peut conclure que les deux locuteurs ont comparativement les mêmes stratégies articulatoires, en termes de contrôle spatiotemporel, pour réaliser les différences entre consonnes simples et consonnes doubles.

Hypothèse n° 4 : Nous examinerons les phénomènes de l'anticipation, supposant que pour la réalisation de gestes potentiellement plus longs pour les géminées, il soit nécessaire d'initier ceux-ci plus tôt. En corolaire, il est probable que le démarrage des gestes vocaliques post-consonantiques soit retardé en contexte géminé, le temps de réaliser correctement une striction (contact ou constriction) longue, mais anticipé en contexte d'une consonne simple, où la striction dure relativement moins longtemps.

Réponse n° 4 : Il est vrai que des stratégies anticipatoires, tout comme des faits liés à la rétention spatiotemporelle des gestes, servent à faire émerger correctement les géminées.

Hypothèse n° 5 : Nous supposons, au niveau glottique, que la différence entre simples et géminées serait la même que celle qui oppose la production de consonnes implosives et éjectives, l'ensemble larynx-os hyoïde devant être plus élevé pour les géminées, comme pour

les éjectives, à cause d'un taux de la pression intra-orale supérieur pour les géminées, par rapport aux simples.

Réponse n° 5 : La position du couple larynx-os hyoïde reste comparable pour les deux termes de l'opposition phonologique. Cela semble indiquer que des différences éventuelles de pression intra-orale n'ont pas eu d'incidence sur la position de ce couple et, en conséquence, sur les valeurs du VOT (discuté *supra*).

Au total, nos données et nos observations nous amènent à insister sur la mise au jour de régularités acoustiques et articulatoires dans la réalisation du trait phonologique de la gémination. Si l'on ne peut pas, selon nos résultats, parler de présence d'invariances absolues ou relatives qui sous-tendraient la gémination, nous pensons qu'il convient de prendre en compte les indices acoustiques robustes - que nous avons signalés - présents dans le signal de parole (Stevens, 1972), ainsi que les indices articulatoires relatifs au niveau du contrôle spatiotemporel des gestes articulatoires (Liberman & Mattingly, 1985 ; Fujimura, 1991 ; Browman & Goldstein, 1989 ; Saltzman *et al.,* 1987). On gardera toutefois à l'esprit la nature écologique du système de production / perception de la parole qui devrait forcément intégrer les phénomènes de variabilités (Lindblom , 1987) pour être mieux appréhendé.

C'est dans cette perspective de relations articulatori-acoustiques que nous proposons de traiter le phénomène phonologique de la gémination en tarifit comme suit :

1) Les consonnes simples du tarifit correspondraient à :
   a) un seul geste ayant son organisation spatiotemporel spécifique : une occlusion / constriction supraglottique d'une certaine durée, accompagnée d'une étendue de contact d'une largeur déterminée ;
   b) une tenue consonantique acoustique, renforcée par un silence acoustique ou par une occlusion acoustique de durées spécifiques.
2) Les géminées correspondraient à :
   a) un geste unique comparable à celui de son homologue simple, mais ayant une occlusion / constriction supraglottique d'une durée supérieure à celle de la simple, accompagnée d'une étendue de contact d'une largeur également supérieure à celle de la simple ;
   b) une tenue consonantique acoustique, renforcée par un silence acoustique ou par une occlusion acoustique de durées supérieures à celle de son homologue simple.

Ainsi, les géminées du tarifit seraient calquées sur leurs homologues simples, le locuteur ayant appris à mettre en place des réorganisations spatiotemporelles articulatoires et

acoustiques adéquates pour passer d'une entité à l'autre. En effet, selon nos données articulatoires et acoustiques, le locuteur *ferait la même chose une fois, mais pour un lapse de temps plus long* (« *doing the same thing once, for a longer period of time* »), puisque :

1) les patterns spatiotemporels articulatoires sont structurellement comparables entre simples et géminées ;
2) seul un contact unique et prolongé a été observé pour les géminées ;
3) la nature de ce contact est qualitativement mais pas quantitativement similaire à celui des simples ;
4) le signal acoustique, en conséquence, ne révèle aucune rupture ni dans la phase silencieuse de la tenue consonantique des sourdes, ni dans celle de l'occlusion consonantique des sonores.
5) La gémination en tarifit serait un phénomène, entre autres, de réaménagement (*rescaling*) temporel des phasages et de réorganisation d'un paramètre spatial critique.

En perspectives…

1) Nous espérons conduire des *tests de perception* afin de déterminer les points de rupture perceptive, dans les dimensions temporelle et spatiale, entre consonnes simples et consonnes géminées, grâce à des tests de perception catégorielle ou de *gating*, par exemple.

2) Il serait intéressant aussi de se servir de ces données sur la gémination du tarifit pour le développement de *modèles articulatoires géométriques* du conduit vocal (Maeda, 1990 ; Laprie & Busset, 2011). De tels modèles peuvent être utilisés afin d'étudier la gémination d'un point de vue dynamique, ainsi que la variabilité interlocuteur. La synthèse articulatoire (Laprie *et al.*, 2014), et plus généralement les techniques de simulation de la production de la parole, font le lien entre les espaces articulatoire et acoustique. Elles permettent en particulier d'étudier les mécanismes d'anticipation et de coordination gestuelle du point de vue de leur impact acoustique (Laprie *et al.*, 2014). Etant donné que nous disposons de nos données cinéradiographiques bidimensionnelles et du signal acoustique associé, il convient pour la suite de ce travail de procéder, en vue d'une synthèse articulatoire, à l'acquisition de données IRM tridimensionnelles, pour nos deux locuteurs.

3) Des avancées récentes dans le domaine de la *modélisation biomécanique* (Perrier *et al.*, 2011 ; Buchaillard *et al.*, 2009 ; Perrier & Ma, 2008), en rapport avec la synthèse articulatoire (Maeda, 1996), ont permis d'établir un lien plus facile, plus précis et plus

direct entre le conduit vocal et le niveau acoustique. Les modèles biomécaniques, contrôlés par un modèle de planification des séquences de parole, pourraient nous aider à mieux comprendre des phénomènes qui échappent à nos analyses dans ce travail. Il s'agirait de comprendre, par exemple : a) les variabilités de réalisations articulatoires et acoustiques de la gémination, spécifiques au locuteur ; b) les directions des forces musculaires des articulateurs critiques, spécifiques au locuteur lors de la réalisation de l'opposition phonologique ; c) les éventuels longueurs d'unités de planification des patterns coarticulatoires, spécifiques au locuteur, et variables selon le terme du contraste phonologique à produire.

Les limites de ce travail

- Le lecteur aurait remarqué que les analyses plus précises sur la gémination en lien avec la variation du trait de voisement n'ont pas été possibles à cause de quelques limitations inhérentes à un corpus de phrases courtes. Pour pallier ce problème, il serait bien de construire un corpus plus contrôlé (*ceteris paribus*), qui nous permettrait de conduire des analyses statistiques systématiques sur des oppositions simples *vs.* géminées, tout en testant l'effet du voisement sur le contraste phonologique de la gémination.
- Notre corpus ne nous permet pas de comparer les patterns spatiotemporels articulatoires et acoustiques des géminées à ceux des géminées hétéromorphémiques homorganiques. C'est seulement en procédant à une analyse comparative de telles données que nous pourrions savoir si, d'un côté nous avons un contrôle spatiotemporel correspondant à « *doing the same thing once, but for a longer period of time* », et de l'autre côté, un contrôle spatiotemporel renvoyant à « *faire deux choses à la fois* » ou « *doing two things at once* ».
- Toujours par rapport au corpus, si les séquences cibles en position intervocalique ne posent aucun problème, celles en initial et finale ne sont pas en positions absolues. Nous n'avons donc pas testé, au sens strict du terme, l'effet de ces positions sur le trait phonologique.
- Enfin, nous n'avons pas non plus évalué statistiquement les variabilités interindividuelles, même si d'un point de vu global, les résultats articulatoires et acoustiques de nos différents locuteurs sont structurellement semblables.

Ces différents points que nous venons de soulever, ainsi que d'autres qui vont sûrement surgir à la lecture de ce travail, seront pris en compte dans nos travaux de recherche futurs.

15 Bibliographie

Abramson, A. S. (1986). The perception of word-initial consonant length: Pattani Malay. *Journal of the International Phonetics Association*, *16*, 8–16.

Abramson, A. S. (1987). Word-initial consonant length in Pattani Malay. In *Proceedings of the 11th International Congress of Phonetic Sciences* (Vol. 6, pp. 143–147). Tallinn.

Abramson, A. S. (1991). Amplitude as a cue to word-initial consonant length: Pattani Malay. In *Proceedings of the 12th International Congress of Phonetic Science* (pp. 98–101). Aix-en-Provence.

Abramson, A. S. (1998). The complex acoustic output of a single articulatory gesture: Pattani Malay word-initial consonant length. In U. Warotamasikkhadit & T. Panakul (Eds.), *Papers from the Fourth Annual Meeting of the Southeast Asian Linguistics Society 1994* (pp. 1–20). Tempe, Arizona.

Abramson, A. S. (1999). Fundamental frequency as a cue to word-initial consonant length: Pattani Malay. In *Proceedings of the 14th International Congress of Phonetic Science* (pp. 591–594). San Francisco.

Abry, C., Autesserre, D., Barrera, C., Benoit, C., Boë, L. J., Caelen, J., … Vigouroux, N. (1985). Propositions pour la segmentation et l'étiquetage des sons du français. In *14e JEP du GCP du GALF* (pp. 156–163).

Abry, C., Orliaguet, J.-P., & Sock, R. (1990). Patterns of speech phasing. Their robustness in the production of a timed linguistic task: single vs. double (abutted) consonants in French. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, *10*(3), 269–288.

Abu-Salim, I. (1980). Epenthesis and geminate consonants in Palestinian Arabic. *Studies in the Linguistic Sciences*, *10*(2), 1–11.

Agnello, J. (1975). Voice Onset and Voice Termination features of stutterers. In L. C. Furst & L. M. Webster (Eds.), *Vocal Tract dynamics and dysfluency* (pp. 940–954). New York: Speech and Hearing Institute.

Amano, S., & Hirata, Y. (2010). Perception and production boundaries between single and geminate stops in Japanese. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *128*(4), 2049–2058.

Armosti, S. (2009). *The phonetics of plosive and affricate gemination in Cypriot Greek (PhD Thesis)*. Univercity of Cambridge.

Armstrong, L. (1964). *The phonetic stracture of Somali*. London: Gregg Press.

Arvaniti, A. (1999). Effects of speaking rate on the timing of single and geminate sonorants. In *Proceedings of the XIVth International Congress of Phonetic Sciences* (pp. 599–602). Berkeley: Dep.of Linguistics, UCB.

Arvaniti, A. (2001). Comparing the phonetics of single and geminate consonants in Cypriot and standard Greek. In *Proceedings of the 4th International Conference on Greek Linguistics* (pp. 37–44). Thessaloniki.

Arvaniti, A., & Tserdanelis, G. (2000). On the phonetics of geminates: evidence from Cypriot Greek. In *Proceedings of the 6th International conference on Spoken Language Processing* (Vol. 2, pp. 559–562). Beijing.

Arvaniti, A., & Tserdanelis, G. (2001). The acoustic characteristics of geminate consonants in Cypriot Greek. In *Proceedings of the 4th International Conference on Greek Linguistics* (pp. 29–36). Thessaloniki.

Aubin, J. P. (1991). *Viability Theory*. Berlin: Birhäuser.

Ball, M., & Rahilly, J. (1999). *Phonetics: The science of speech*. London: Arnold.

Barbier, P. (1979). Les mouvements du larynx dans la chaîne parlée en français. In *Séminaire Larynx et Parole. GALF-GCP* (pp. 197–212). Institut de Phonétique de Grenoble.

Barkai, M. A. R. (1974). On duration and spirantization in Biblical Hebrew. *Linguistic Inquiry*, *5*, 456–459.

Barkat-Defradas, M., & Embarki, M. (2009). Mécanismes articulatoires et corrélats acoustiques de l'emphase en arabe et en berbère : un état de l'art. In S. Chaker, A.

Mettouchi, & G. Philipson (Eds.), *Etudes de phonétique et linguistique berbères Hommage à Naïma Louali 1961-2005* (pp. 21–42). Paris, Louvain: Peeters.

Basset, A. (1946). *Le système phonologique du berbère*. GLECS.

Basset, A. (1952). *La langue berbère,*. London, Oxford.

Beautemps, D., Badin, P., & Bailly, G. (2001). Linear degrees of freedom in speech production : Analysis of cineradio-and labio-film data and articulatory-acoustique modeling. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *109*(5), 2156–2180.

Bechet, M. (2011). *Perturbation de la production des occlusives chez des locuteurs présentant une division palatine ou labio-palatine* (Thèse de doctorat). Université de Strasbourg, France.

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.

Berger, M. O., & Laprie, Y. (1996). Tracking articulators in X-ray images with minimal user interaction: Example of the tongue extraction. In *Preceedings of IEEE International Conference on Image Processing* (Vol. 2, pp. 289 – 292). Lausanne, Switzerland.

Berger, M. O., Mozelle, G., & Lapprie, Y. (1995). Towards automatic extraction of tongue contours in X-ray images. In *Proceedings of the 9th Scandinavian Conference on Image Analysis* (pp. 913–920). Upsala, Sweden.

Berthoz, A. (1997). *Le sens du mouvement*. Paris: Odile Jacob.

Biarnay, S. (1917). *Étude sur les dialectes berbères du Rif: lexique, textes et notes de phonétique.* Paris: Ernest Leroux.

Blumstein, S. E. (1986). On acoustic invariance in speech. In J. S. Perkell & D. H. Klatt (Eds.), *Invariance and variability in speech processes* (pp. 178–193). Hilsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.

Blumstein, S. E. (1989). Theoretical implications of the quantal nature of speech: a commentary. *Journal of Phonetics*, *17*, 55–61.

Bothorel, A. (1975). Positions et mouvements de l'os hyoïde dans la chaîne parlée. *Travaux de l'Institut de Phonétique de Strasbourg*, *7*, 80–132.

Bothorel, A. (1979). Déplacement de l'os hyoïde et F0. In *Séminaire Larynx et Parole. GALF-GCP* (pp. 185–196). Institut de Phonétique de Grenoble.

Bothorel, A., Simon, P., Wioland, F., & Zerling, J. P. (1986). *Cinéradiographie des voyelles et des consonnes du français. Recueil de documents synchronisés pour quatre sujets : vues latérales du conduit vocal, vues frontales de l'orifice labial, données acoustiques*. Travaux de l' Institut de Phonétique de Strasbourg.

Bothorel-Witz, A., & Pétursson, M. (1972). La nature des traits de tension, de sonorité et d'aspiration dans le système des occlusives de l'allemand et de l'islandais. *Travaux de l'Institut de Phonétique de Strasbourg*, *4*, 277–356.

Bouarourou, F. (2006). *La gémination en tarifit* (Mémoire de Master II). Université Marc Bloch, Strasbourg.

Bouarourou, F., Vaxelaire, B., Ridouane, R., Hirsch, F., Fauth, C., & Sock, R. (2011). Gemination in Tarifit Berber: Doing one or two things at once? In *Proceedings of the 17th International Congress of Phonetic Sciences* (pp. 344–347). Hong Kong.

Bouarourou, F., Vaxelaire, B., Ridouane, R., Hirsch, F., & Sock, R. (2008). Gemination in Tarifit Berber: x-ray and acoustic data. In *Proceedings of the 8th International Seminar on Speech Production* (pp. 117–120). Strasbourg.

Bouarourou, F., Vaxelaire, B., Ridouane, R., Hirsch, F., & Sock, R. (2010). La résistivité de la gémination en tarifit. In *Actes des 28e Journées d'Étude sur la Parole* (pp. 341–345). Mons.

Bourciez, E., & Bourciez, J. (1967). *Phonétique française : étude historique*. Paris: Editions Klincksieck.

Braun, A. (1988). *Zum Merkmal "Fortis - Lenis."* F. Steiner Verlag Wiesbaden.

Brock, G. (1977). Méthodes de synchronisation graphique images/son pour l'exploitation des filmes radiologiques. *Travaux de l'Institut de Phonétique de Strasbourg*, *9*, 221–232.

Browman, C. P., & Goldstein, L. (1986). Toward an articulatory phonology. *Phonology*, *3*, 219–252.

Browman, C. P., & Goldstein, L. (1989). Articulatory gestures as phonological units. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, *99/100*, 69–101.

Browman, C. P., & Goldstein, L. (1990). Gestural specification using dynamically-defined articulatory structures. *Journal of Phonetics*, *18*, 299–320.

Browman, C. P., & Goldstein, L. (1992). Articulatory phonology: an overview. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, *111/112*, 23–42.

Browman, C. P., & Goldstein, L. (2000). Competing constraints on intergestural coordination and self-organization of phonological structures. *Les Cahiers de l'ICP. Bulletin de La Communication Parlée*, *5*, 25–34.

Buchaillard, S., Perrier, P., & Payan, Y. (2009). A biomechanical model of cardinal vowel production: muscle activations and the impact of gravity on tongue positioning. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *126*(4), 2033–2051.

Busset, J. (2013). *Inversion acoustique articulatoire à partir de coefficients cepstraux* (Thèse de Doctorat). Université de Lorraine.

Byrd, D. (1995). Articulatory characteristics of single and blended lingual gestures. In *Proceedings of the 13th International Congress of Phonetic Sciences 2* (pp. 438–441). Stockholm.

Cadi, K. (1987). *Systeme verbal rifain*. Peeters Publishers.

Campbell, N. (1999). A study of Japanese speech timing from the syllable perspective. Onsei Kenkyuu. *[Journal of the Phonetic Society of Japan]*, *3*(2), 29–39.

Chaker, S. (1975). Les paramètres acoustiques de la tension consonantique en berbère (kabyle). *Travaux de l'Institut de Phonétique d'Aix 2*, 151–168.

Chaker, S. (1984). *Textes en linguistique berbere*. Paris: Editions du CNRS.

Chaker, S. (1992). *Textes en linguistique berbère : introduction au domaine berbère*. Paris: Editions d'Harmattan.

Charbonneau, R. (1971). *Etude sur les voyelles nasales du francais canadien. [Mit Tab.]*. Les Presses de l'Université Laval.

Chlumsky, J. (1913). Méthodes pour obtenir le profil de la langue pendant l'articulation. *Revue de Phonétique*, *3*, 167–173.

Chomsky, N., & Halle, M. (1968). *The Sound Pattern of English*. New York ; Evanston [etc.]: Harper and Row.

Cho, T., & Ladefoged, P. (1999). Variations and universals in VOT: evidence from 18 languages. *Journal of Phonetics*, *27*, 207–229.

Christdas, P. (1988). *The phonology and morphology of Tamil* (Doctoral Dissertation). Cornell University, Ithaca, N. Y.

Chtatou, M. (1994). La représentation vocalique dans les dialectes berbères du Rif. *Etudes et Documents Berbères*, *11*, 177–195.

Churma, D. G. (1988). Consonant gradation in Fula suffixes: the ugly truth. *Studies in African Linguistics*, *19*(1), 35–74.

Clements, G. N., & Keyser, S. J. (1983). *CV Phonology*. Cambridge, MA : MIT Press.

Clements, G. N., & Ridouane, R. (2006). Quantal phonetics and distinctive features: a review. In *Proceedings of ISCA Tutorial and Research Workshop on Experimental Linguistics* (pp. 28–30). Athens, Greece.

Cohn, A., Ham, W., & Podesva, R. (1999). The phonetic realization of singleton-geminate contrasts in three languages of Indonesia. In *Proceedings of the 14th International Congress of Phonetic Sciences* (pp. 587–590). San Francisco.

Connan, P. Y., Brock, G., Roy, J. P., & Hirsch, F. (2003). Using digital cine-radiography to study anticipatory labial activity in French. In *Proceedings of the 15th International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS), August 3-9* (pp. 3153–3156). Barcelona, Spain.

Connell, B. (1991). *Phonetic aspects of the Lower Cross languages and thier implications for sound change* (Doctoral Dissertation). University of Edinburgh.

Cowan, J. R., & Yarmohammadi, L. (1978). The Persian verb reconsidered. *Archiv Orientàli*, *46*, 46–60.

Curtis, E. (2003). *Geminate weight : Case studies and formal models* (Ph.D. thesis). University of Washington.

Dang, J., & Honda, K. (2004). Construction and control of a physiological articulatory model. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *115*(2), 853–870.

Dayley, J. (1989). *Tümpisa (Panamint) Shoshone grammar*. Berkeley: University of California Press.

Delattre, P. (1971). Consonant gemination in four languages: an acoustic, perceptual and radiographic study. *IRAL - International Review of Applied Linguistics in Language Teaching*, *9*(1& 2), PART I 31–52 PART II 97–113.

Delattre †, P. (1971). Pharyngeal Features in the Consonants of Arabic, German, Spanish, French, and American English. *Phonetica*, *23*(3), 129–155.

Dunn, M. H. (1993). *The Phonetics and phonology of geminate consonants : a production study* (Ph.D. thesis). Yale University.

El Kirat, Y. (1987). *Spirantization in the Beni Iznassen dialect, diachrony and synchrony* . (Mémoire de D.E.S.S). Université Mohammed V, Rabat.

Elmedlaoui, M. (1993). Gemination and spirantization in Hebrew, Berber, and Tigrinya: a fortis-Lenis module analysis. *Linguistica Communicatio*, *V*(1), 121–176.

Engstrand, O. (1987). Durational patterns of Lule Sami phonology. *Phonetica*, *44*, 117–128.

Esposito, A., & Benedetto, M. G. D. (1999). Acoustical and perceptual study of gemination in Italian stops. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *106*(4), 2051–2062.

Fant, G. (1960). *Acoustic Theory of Speech Production.* S-Gravenhage: Mouton & Co.

Fant, G. (1969). Distinctive features and phonetic dimensions. *Speech Transmission Laboratory, Quarterly Progress and Status Report (STL-QPSR)*, *Dept. of Speech Transmission, Royal Institute of Technology, Stockholm.*, 1–19.

Farnetani, E. (1990). V-C-V Lingual Coarticulation and Its Spatiotemporal Domain. In W. J. Hardcastle & A. Marchal (Eds.), *Speech Production and Speech Modelling* (pp. 93–130). Springer Netherlands.

Fauth, C. (2012). *Perturbation de la production de la parole suite à une opération de la glande thyroïde* (Thèse de doctorat). Université de Strasbourg.

Feldman, A. G. (1986). Once more on the Equilibrium-Point hypothesis (l model) for motor control. *Journal of Motor Behavior*, *18*(1), 17–54.

Fischer-Jørgensen, E. (1954). Acoustic analysis of stop consonants. *Miscellanea Phonetica*, *2*, 42–59.

Fischer-Jørgensen, E. (1968). Voicing, tenseness and aspiration in stop consonant, with special reference to French and Danish. *Annual Report of the Institute of Phonetics, University of Copenhagen*, *3*, 63–114.

Flanagan, J. R., Ostry, D. J., & Feldman, A. G. (1990). Control of Human Jaw and Multi-Joint Arm Movements. In Geoffrey R. Hammond (Ed.), *Advances in Psychology* (Vol. 70, pp. 29–58). North-Holland: Elsevier Science Publishers B.V.

Foley, J. (1977). *Foundations of phonological theory*. Cambridge University Press.

Fontecave, J., & Berthommier, F. (2006). Semi-Automatic Extraction of Vocal Tract Movements from Cineradiographic Data. In *Interspeech* (pp. 569–572). Pittsburgh.

Fougeron, C. (2005). La phonologie articulatoire : une introduction. In N. Nguyen, S. Wauquier-Gravelines, & J. Durand (Eds.), *Phonologie et phonétique, forme et substance* (pp. 265–290). Paris: Hermès.

Fowler, C. A., & Saltzman, E. (1993). Coordination and coarticulation in speech production. *Language and Speech*, *36*, 171–195.

Fujimura, O. (1991). Beyond the segment. In I. G. Mattingly & M. Studdert-Kennedy (Eds.), *Modularity and the Motor Theory of Speech Perception* (pp. 25–31). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.

Fukui, S. (1987). Nihongo heisaon-no encho/tanshuku-niyoru sokuon/hisokuon toshite-no chooshu [perception for the Japanese stop consonants with reduced and extended durations]. *Onsei Gakkai Kaihou [Phonetic Society Reports]*, *59*, 9–12.

Gaitenby, J. (1965). The elastic word. *Haskins Laboratories, Status Report, Speech Research*, *2*, 1–12.

Galand, L. (1953). la phonétique en dialectologie berbère., *II*(1), 225–233.

Galand, L. (1960). “La langue” (art . “Berbère”). In *Encyclopédie de l’ Islam*. Leyde, Paris: Brill.

Galand, L. (1988). Le berbère. In D. Cohen & J. Perrot (Eds.), *Les langues dans le monde ancien et moderne* (Vol. Troisième partie : les langues chamito-sémitiques., pp. 207–242). Paris: Editions du CNRS.

Galand, L. (1997). Les consonnes tendues en berbère et leur notation, *19*, 57–77.

Galván-Rodrigez, A. (1997). *Etudes dans le cadre de l’inversion acoustico-articulatoire : Amélioration d’un modèle articulatoire, normalisation du locuteur et récuperation du lieu de constriction des occlusives* (Thèse de l’Institut Nationale Polytechnique de Grenoble).

Gay, T. (1978). Effect of speaking rate on vowel formant movements. *Journal of Acoustical Society of America*, *63*(1), 223–230.

Gendron, J.-D. (1966). *Tendances phonétiques du française parlé au Canada*. C. Klincksieck.

Giannelli, L., & Savoia, L. (1979). Indebolimento consonantico in Toscana. *Revista Italiana Di Diallettologia*, *2*, 23–58.

Gili-Fivela, B., Zmarich, C., Perrier, P., Savariaux, C., & Tisato, G. (2007). Acoustic and kinematic correlates of phonological length contrast in italian consonants. In *Proceedings of the XVIth International Congress of Phonetic Sciences* (pp. 469–472). Saarbrücken

Goldsmith, J. (1976). *Autosegmental Phonology* . (Ph.D. thesis). MIT, Published by Garland Press, New York , 1979.

Greenberg, J. H. (1963). Some Universals of Grammar with Particular Reference to the Order of Meaningful Elements. In J. H. Greenberg (Ed.), *Universals of Human Language* (pp. 73–113). Cambridge, Mass: MIT Press.

Grosjean, F., & Deschamps, A. (1975). Analyse contrastive des variables temporelles de l'anglais et du français : vitesse de parole et variables composantes, phénomènes d'hésitation. *Phonetica*, *31*, 144–184.

Guerssel, M. (1977). Constraints on phonological rules. *Linguistic Analysis*, *3*, 267–305.

Guerssel, M. (1978). A condition on assimilation rules. *Linguistic Analysis*, *4*, 225–254.

Hala, B., & Polland, B. (1926). *Uvedeni do fonetiky ceskych zvuku v roentgenovych obrazech [Radiographies des articulations tchèques]*. Prague.

Halle, M., & Flanagan, J. R. (1980). Three-dimensional Phonology. *Journal of Linguistic Research*, *1*, 83–105.

Ham, W. H. (1998). *Phonetic and phonological aspects of geminate timing* (Ph.D. Dissertation). Cornell University.

Hankamer, J., Lahiri, A., & Coreman, J. (1989). Perception of consonant length: voiceless stops in Turkish and Bengali. *Jornal of Phonetics*, *17*(4), 283–298.

Han, M. S. (1994). Acoustic manifestations of mora timing in Japanese. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *96*(1), 73–82.

Hardcastle, W. J. (1973). Some observations on the Tense-Lax distinction in initial stops in Korean. *Journal of Phonetics*, *1*, 263–271.

Harris, K. S., Hoffman, H. S., Liberman, A. M., & Delattre, P. C. (1958). Effect of third-formant transitions on the perception of voiced consonants. *Journal of the Acoustical Society of America*, *30*(2), 122–126.

Hassan, Z. M. (2002). Gemination in Swedish and Arabic with particular reference to the preceding vowel duration: an instrumental and comparative approach. In *proceedings of fonetik 2002 TMH-QPSR* (Vol. 44, pp. 81–84).

Hayes, B. (1986). Inalterability in CV Phonology. *Language*, *62*(2), 321–351.

Hayes, B. (1989). Compensatory Lengthening in moraic phonology. *Linguistic Inquiry*, *20*, 253–306.

Hegedüs, L. (1959). Beitrag zur Frage der Geminaten. *Zeitschrift Für Phonetik*, *12*, 68–106.

Hirata,Y. (2007). Durational variability and invariance in japanese stop quantity distinction: Roles of adjacent vowels. *Onsei Kenkyuu [Journal of the Phonetic Society of Japan]*, *11*(1), 9–22.

Hirose, A., & Ashby, M. (2007). An acoustic study of devoicing of the geminate obstruents in Japanese. In *Proceedings of the XVIth International Congress of Phonetic Sciences* (pp. 909–912). Saarbrücken.

Hirose, H. (1977). Laryngeal Adjustments in Consonant Production. *Phonetica*, *34*(4), 289–294.

Hockett, C. (1955). *A manual of phonology*. Baltimore.

Hyman, L. (1985). *A Theory of Phonological Weight*. Dordrecht : Foris.

Idemaru, K., & Guion, S. G. (2008). Acoustic covariants of length contrast in Japanese stops. *Journal of the International Phonetic Association*, *38*(02), 167–186.

Itô, J. (1986). *Syllable Theory in Prosodic Phonology* (Ph.D. dissertation). University of Massachusetts, Amherst.

Itô, J. (1989). A prosodic theory of epenthesis. *Natural Language and Linguistic Theory*, *7*, 217–260.

Jakobson, R. (1961). *Essais de linguistique générale.* Paris: Editions de minuit.

Jakobson, R., Fant, G., & Halle, M. (1952). *Preliminaries to speech analysis: The distinctive features and their correlates.* Cambridge, Mass.: M.I.T. Press.

Jakobson, R., & Halle, M. (1961). Tension et laxité. In *Essais de Linguistique Générale* (eds. 1963, pp. 150– 157). Paris: Les Editions de Minuit.

Jakobson, R., & Halle, M. (1968). Phonology in relation to phonetics. In B. Malmberg (Ed.), *Manual of Phonetics*. Amsterdam : North Holland.

Jakobson, R., & Waugh, L. R. (1987). *The sound shape of language*. Berlin: Mouton de Gruyter.

Jeannerod, M. (1988). *The neural and behavioural organization of goal-directed movements* (Vol. xii). New York, NY, US: Clarendon Press/Oxford University Press.

Jessen, M. (1998). *Phonetics and Phonology of Tense and Lax Obstruents in German*. Amsterdam, Philadelphia: John Benjamins Publishing.

Jomaa, M., & Abry, C. (1988). La résistivité de la quantité vocalique aux variations de la vitesse d'élocution : le cas de l'arabe tunisien. In *17èmes Journées d'Etudes sur la Parole du Groupe Communication Parlée organisées par la S.F.A.* (pp. 231–236). Nancy.

Jordan, M. I. (1988). *Supervised Learning and Systems with Excess Degrees of Freedom*. Amherst, MA, USA: University of Massachusetts.

Kahn, D. (1976). *Syllable-based generalizations in English phonology* (Ph.D. thesis). MIT, . Published in 1980, New York : Garland Press.

Ka, O. (1994). *Wolof Phonology and Morphology.* Lanham: University Press of America.

Kawahara, S. (2006). A faithfulness ranking projected from a perceptibility scale: The case of voicing in Japanese. *Language*, *82*(3), 536–574.

Kawahara, S. (2012). The phonetics of obstruent geminates, sokuon. *The Handbook of Japanese Language and Linguistics: Phonetics and Phonology*.

Keating, P. A. (1984). Phonetic and phonological representation of stop consonant voicing. *Language*, *60*, 286–319.

Keating, P. A. (1988). The window model of coarticulation: articulatory evidence. *UCLA Working Papers in Phonetics*, *69*, 3–29.

Kelso, J. A. S., Saltzman, E. L., & Tuller, B. (1986a). dynamical perspective on speech production : Data and theory. *Journal of Phonetics*, *14*, 29–59.

Kelso, J. A. S., Saltzman, E. L., & Tuller, B. (1986b). Intentional contents, communicative context, and task dynamics: a reply to the commentators. *Journal of Phonetics*, *14*, 171–196.

Kelso, J. A. S., & Tuller, B. (1984). A dynamical basis for action systems. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *Handbook of Cognitive Neuroscience* (pp. 321–356). New York: Plenum.

Kenstowicz, M. (1970). On the notation of vowel length in Lithuanian. *Papers in Linguistics*, *3*, 73–113.

Kenstowicz, M. (1982). Gemination and Spirantization in Tigrinya. *Studies in the Linguistic Sciences*, *12*(1), 103–122.

Kenstowicz, M. (1994). *Phonology in generative grammar* (Blackwell Publishers.). Cambrige MA & Oxford UK.

Kim, C. W. (1965). On the autonomy of the tensity feature in stop classification. *Word*, *21*, 339–359.

Kim, K., & Gomi, H. (2007). Model-Based Investigation of Control and Dynamics in Human Articulatory Motion. *Journal of System Design and Dynamics*, *1*(3), 558–569.

Kirchner, R. (2000). Geminate inalterability and lenition. *Language*, *76*(3), 509–545.

Klatt, D. H. (1975). Voice Onset Time, Frication, and Aspiration in Word-Initial Consonant Clusters. *Journal of Speech and Hearing Research*, *18*(4), 686–706.

Klingenheben, A. (1928). Die Silbenauslautsgesetze des Hausa. *Zeitschrift Für Eingeborenen Sprachen*, *18*, 272–97.

Kraehenmann, A. (2001). Swiss German stops: geminates all over the word. *Phonology*, *18*(01), 109–145.

Kraehenmann, A., & Lahiri, A. (2008). Duration differences in the articulation and acoustics of Swiss German word-initial geminate and singleton stops. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *123*(6), 4446–4455.

Kuehn, D. P., & Moll, K. L. (1976b). A Cineradiographic Study of VC and CV Articulatory Velocities. *Journal of Phonetics*, *4*, 303–320.

Laboissiere, R., Schwartz, J. L., & Bailly, G. (1990). Motor control for speech skills: a connectionist approach D.S. In J. L. Elman, T. L. Sejnowski, & G. E. Hinton (Eds.), *Proceedings of the 1990 Summer School, Morgan Kaufmann Publishers* (pp. 319–327). San Mateo, California.

Labov, W. (1972). *Sociolinguistic patterns*. Philadelphia, PA: University of Pennsylvania Press.

Ladefoged, P. (1964). *A phonetic study of West African Languages. An auditory-instrumental survey*. Cambridge University Press.

Ladefoged, P. (1967). *Three areas of experimental phonetics.* London: Oxford University Press.

Ladefoged, P. (1968). *A phonetic study of West African languages.* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

Ladefoged, P. (1983). The linguistic use of different phonation types. In D. Bless & J. Abbs (Eds.), *Vocal fold physiology: Contemporary research and clinical issues* (pp. 351–360). San Diego: College Hill Press.

Ladefoged, P., Declerk, J., Lindau, M., & Papçun, G. (1972). An auditory-motor theory of speech production. *University of California Los Angeles Working Papers in Phonetics*, *22*, 48–75.

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

Lahiri, A., & Hankamer, J. (1988). The timing of geminate consonants. *Jornal of Phonetics*, *16*(3), 327–338.

Laoust, E. (1927). Le dialecte berbère du Rif. *Hespéris*, *VII*, 137–208.

Laprie, Y., & Busset, J. (2011). Construction and evaluation of an articulatory model of the vocal tract. In *19th European Signal Processing Conference - EUSIPCO-2011*.

Laprie, Y., Ouni, S., Potard, B., & Maeda, S. (2003). Inversion experiments based on a descriptive articulatory model. In *Proceedings of the 6th International Seminar on Speech Production*.Sydney

Laprie, Y., Sock, R., Vaxelaire, B., & Élie, B. (2014). Comment faire parler les images aux rayons X du conduit vocal ? In *proceedings of Congrès Mondial de Linguistique Française* (pp.1285-1298). Berlin.

Leben, W. (1973). *Suprasegmental phonology* (Ph.D. Dissertation). Cambridge, Mass.: MIT.

Leben, W. (1980). A metrical analysis of length. *Linguistic Inquiry*, *11*, 497–509.

Lehiste, I. (1970). *Suprasegmentals*. MIT Press.

Lehiste, I., Tatham, M., & Morton, K. (1973). An instrumental study of consonant gemination. *Journal of Phonetics*, *1*, 131–148.

Lenneberg, E. G. (1967). *Biological foundations of language*. New York: John Wiley & Sons.

Levin, J. (1985). *A metrical theory of syllabificity* (Ph.D. thesis). MIT.

Liberman, A. M., Cooper, F. S., Shankweiler, D. P., & Studdert-Kennedy, M. (1967). Perception of the speech code. *Psychological Review*, *74*, 431–461.

Liberman, A. M., & Mattingly, I. G. (1985). The motor theory of speech production revised. *Cognition*, *21*, 1–36.

Liberman, A. M., & Mattingly, I. G. (1989). A specialization for speech perception. *Science*, *243*, 289–294.

Liberman, P. (1984). *The biology and evolution of language*. Cambridge : Harvard University Press.

Lindblom, B. (1963). *On vowel reduction* (Ph.D. thesis). In the Royal Institute of Technology, Speech Transmission Laboratory, 29.

Lindblom, B. (1987). Absolute Constancy and Adaptative Variability: two Themes in the Quest for Phonetics Invariance. In *Proceedings of the 11th International Congress of Phonetic Sciences* (Vol. 3, pp. 1–18). Tallinn.

Lindblom, B. (1990). Explaining phonetic variation: a sketch of the H&H theory. In A. Marchal & W. J. Hardcastle & (Eds.), *Speech production and speech modelling* (pp. 403–439). Springer Netherlands.

Lindblom, B., & Engstrand, O. (1989). In what sense is speech quantal ? *Journal of Phonetics*, *17*, 107–121.

Lindblom, B., & Lindgren, R. (1985). Speaker-listener interaction and phonetic variation. *Phonetic Experimental Research*, *4*, 77–85.

Lindqvist, J., Sawashima, M., & Hirose, H. (1973). Investigation of the vertical movement of the larynx in a Swedish speaker. *Annual Bulletin, Research Inst. of Logopedics and Phoniatrics, University of Tokyo*, *7*, 27–34.

Lisker, L. (1958). The Tamil occlusives: short vs. long or voiced vs. voiceless? *Indian Linguistics, Turner Jubilee*, *1*, 294–301.

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

Löfqvist, A. (2005). Lip kinematics in long and short stop and fricative consonants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *117*(2), 858–878.

Löfqvist, A. (2006). Interarticulator programming: effects of closure duration on lip and tongue coordination in Japanese. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *120*(5 Pt 1), 2872–2883.

Löfqvist, A. (2007). Tongue movement kinematics in long and short Japanese consonants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *122*(1), 512–518.

Löfqvist, A. (2009). Vowel-to-vowel coarticulation in Japanese: The effect of consonant duration. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *125*(2), 636–639.

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

Löfqvist, A., & Gracco, V. L. (1997). Lip and jaw kinematics in bilabial stop consonant production. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research: JSLHR*, *40*(4), 877–893.

Löfqvist, A., & Gracco, V. L. (2002). Control of oral closure in lingual stop consonant production. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *111*(6), 2811–2827.

Louali, N., & Puech, G. (1992). Les consonnes “tendues” du berbère: indices perceptuels et corrélats phonétiques. *Pholia*, *7*, 117–138.

Louali, N., & Puech, G. (1994). Les consonnes “fortes” du berbère : indices perceptuels et correlat phonétique. In *Actes du colloque XXèmes journées d’Etudes sur la Parole* (pp. 459–464). Trégastel.

Louali, N., & Puech, G. (1998). La partition de l’espace vocalique en berbère rifain. In *Actes des 22èmes Journées d’Étude sur la Parole* (pp. 83–85). Martigny.

Lowenstamm, J., & Kaye, J. (1986). Compensatory Lengthening in Tiberian Hebrew. In E. Sezer & L. Wetzels (Eds.), *Studies in Compensatory Lengthening* (pp. 97–132). Dordrecht: Foris.

MacNeilage, P. (1970). Motor control of serial ordering of speech. *Psychological Review*, *77*, 182–196.

Maddieson, I. (1997). Phonetic Universals. In J. Laver & W. J. Hardcastle (Eds.), *The Handbook of Phonetic Sciences* (pp. 619–639). Oxford Blackwells.

Maeda, S. (1988). Improved articulatory models. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *84*(S1), S146–S146.

Maeda, S. (1990). Compensatory Articulation During Speech: Evidence from the Analysis and Synthesis of Vocal-Tract Shapes Using an Articulatory Model. In W. J. Hardcastle & A. Marchal (Eds.), *Speech Production and Speech Modelling* (pp. 131–149). Springer Netherlands.

Maeda, S. (1996). Phoneme as concatenable units: VCV synthesis using a vocal tract synthesizer. *Arbeitsberichte Des Institut Für Phonetik Und Digitale Spachverarbeitung Der Universität Kiel*, (31), 145–164.

Malone, J. (1993). *Tiberian Hebrew phonology*. Winona Lake, IN: Eisenbrauns.

Mathieu, B., & Laprie, Y. (1997). Adaptation of Maeda's model for acoustic to articulatory inversion. In *Proc. EUROSPEECH* (Vol. 4, pp. 2015–2018). Rhodes, Grèce.

McCarthy, J. (1979). *Formal problems in semitic phonology and morphology* (Doctoral Dissertation). MIT, Cambridge, Massachusetts.

McCarthy, J. (1981). A prosodic theory of nonconcatenative morphology . *Linguistic Inquiry*, *12*, 373–418.

McCarthy, J. (1986). OCP effects : Gemination and Antigemination. *Linguistic Inquiry*, *17*, 207–263.

McCarthy, J., & Prince, A. (1986). *Prosodic Morphology.* University of Massachusetts, Amherst and Brandeis University.

McKay, G. (1980). Medial stop gemination in Rembarrnga: a spectrographic study. *Journal of Phonetics*, *8*, 343–352.

Mefferd, A. S., & Green, J. R. (2010). Articulatory-To-acoustic relations in response to speaking rate and loudness manipulations. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *53*, 1206–1219.

Mermelstein, P. (1973). Articulatory model for the study of speech production. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *53*(4), 1070–1082.

Mitchell, T. F. (1957). Long Consonants in Phonology and Phonetics. *Studies in Linguistic Analysis* (pp. 182–205). Oxford University Press.

Mitchell, T. F. (1993). *Pronouncing Arabic 2*. Oxford: Clarendon Press.

Mohanan, K. P. (1986). *The theory of lexical phonology*. Dordrecht: Reidel.

Muller, J. (2001). *The phonology and phonetics of word-initial geminates.* (Ph.D. diss.,). Ohio State University.

Munhall, K. G., & Löfqvist, A. (1985). Gestural aggregation in speech: laryngeal gestures. *Journal of Phonetics*, *20*, 111–126.

Munhall, K., & Löfqvist, A. (1992). Gestural agregation in speech: Laryngael gestures. *Jornal of Phonetics*, *20*, 111–126.

Navarro-Tomás, T. (1950). *Manual de pronunciación española*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto "Miguel de Cervantes,."

Nazari, M. A., Perrier, P., Chabanas, M., & Payan, Y. (2010). Simulation of dynamic orofacial movements using a constitutive law varying with muscle activation. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, *13*(4), 469–482.

Nord, L. (1986). Acoustic studies of vowel reduction in Swedish, speech transmission laboratory. In *quaterly status and progress report 4/1986* (Department of Speech Communication and Music Acoustics, Royal Institute of Technology, pp. 121–123). Stockholm.

Ofuka, E. (2003). Sokuon /tt/-no chikaku: akusento gata-to sokuon/hisokuongo-no onkyooteki tokuchoo niyoru chigai [perception of a Japanese geminate stop /tt/: the effect of pitch

type and acoustic characteristics of preceding/following vowels]. *Onsei Kenkyuu [Journal of the Phonetic Society of Japan]*, *7*(1), 70–76.

Ohala, J., & Eukel, B. (1978). Explaining the intrinsic pitch of vowels. In *Report of the Phonology Laboratory* (pp. 118–125). Berkeley.

Öhman, S. (1966). Coarticulation in VCV Utterances: Spectrographic Measurements. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *39*(1), 151–168.

Öhman, S. (1967). Numerical model of coarticulation. *Journal of the Acoustical Society of America*, *41*(2), 310–320.

Ostry, D. J., Keller, E., & Parush, A. (1983). Similarities in the control of the speech articulators and the limbs: Kinematics of tongue dorsum movement in speech. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *9*(4), 622–636.

Ostry, D. J., & Munhall, K. G. (1985). Control of rate and duration of speech movements. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *77*(2), 640–648.

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

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

Ouakrim, O. (1999). Aperceptual study of tenseness. Some acoustic cues identifying tense vs non-tense contrast in Berber. In *preceedings of the 15th International Congress of Phonetic Sciences,*ICPHS 2003 (pp. 795–798). Barcelona.

Overall, J. E. (1962). Orthogonal factors and uncorrelated factor scores. *Psychological Reports*, *10*(3), 651–662.

Pacocelli-Calzia, G. (1918). Über Palatogrammetrie. *Vox*, *28*, 172–179.

Pająk, B. (2009). *Context-dependent perception of geminates*. Poster presented at the The 83rd LSA Annual Meeting, San Francisco.

Payne, E., & Eftychiou, E. (2006). Prosodic Shaping of Consonant Gemination in Cypriot Greek. *Phonetica*, *63*(2-3), 175–198.

Payne, E. M. (2006). Non-durational indices in Italian geminate consonants, *36*(1), 83–95.

Perkell, J. S. (1969). *Physiology of speech production: Results and implications of a quantitative cineradiographic study. M.I.T. research monograph, No 53*. Unknown Publisher: Unknown Publisher.

Perrier, P., Loevenbruck, H., & Payan, Y. (1996). Control of tongue movements: the equilibrium point hypothesis perspective. *Journal of Phonetics*, *24*, 53–75.

Perrier, P., & Ma, L. (2008). Speech Planning for V1CV2 Sequences: Influence of the Planned Sequence. In *8th International Seminar on Speech Production* (pp. 69–72). Strasbourg.

Perrier, P., Payan, Y., Buchaillard, S. I., Nazari, M. A., & Chabanas, M. (2011). Biomechanical models to study speech. *Faits de Langues*, *37*, 155–171.

Peterson, G. E., & Lehiste, I. (1960). Duration of syllable nuclei in English. *Journal of the Acoustical Society of America*, *32*, 693–703.

Pickett, E. R., Blumstein, S. E., & Burton, M. W. (1999). Effects of Speaking Rate on the Singleton & Geminate Consonant Contrast in Italian. *Phonetica*, *56*(3-4), 135–157.

Port, R., Dalby, J., & O'Dell, M. (1987). Evidence for mora timing in Japanese. *Journal of the Acoustical Society of America*, *81*, 1574–1585.

Prasse, K.-G. (1972). *Manuel de grammaire touarègue (tăhăggart): Nom*. Copenhague: Éditions de l'Université de Copenhague.

Prasse, K.-G. (1984). The Origin of Vowels e and o in touareg and Ghadamsi. In *Current Trends in Afro-Asiatic Linguistics (Papers of the Third International Hamito-semitic Congress, March 1978)* (pp. 317–326). Amesterdam: Benjamins.

Rabdi, L. (2004). *Le parler d'ihbachen (Kabylie Orientale – Algerie): Esquisse phonologique et morphologique* (1re ed.). Köln: Rüdiger Köppe.

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

Ridouane, R. (2007). Gemination in Tashlhiyt Berber: an acoustic and articulatory study. *Journal of the International Phonetic Association*, *37*(02), 119–142.

Ridouane, R. (2008). L'inaltérabilité des géminées et la spirantisation. *Etudes et Documents Berbères*, *27*, 127–149.

Ridouane, R. (2009). Questions de phonologie berbère à la lumière de la phonétique expérimentale. In S. Chaker, A. Mettouchi, & G. Philippson (Eds.), *Etudes de phonétique et de linguistique berbères. Hommage à Naïma Louali 1961-2005.* (pp. 41–67). Paris, Louvain: Peeters.

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

Rochette, C. E. (1973). *Les groupes de consonnes en français : Etude de l'enchaînement articulatoire à l'aide de la radiocinéradiographie et de l'oscillographie.* Paris.: Klincksieck.

Romero Gallego, J. (1995, January 1). *Gestural organization in Spanish: An experimental study of spirantization and aspiration* (Doctoral Dissertations). University of connecticut.

Rossi, M., & Autesserre, D. (1979). Mouvements de l'os hyoïde et du larynx et fréquences intrinsèques des voyelles. In Séminaire Larynx et Parole. GALF-GCP, (pp. 213–242). Institut de Phonétique de Grenoble.

Rousselot, P. J. (1891). *Les modifications phonétiques du language, étudiées dans le patois d'une famille de Cellefrouin (Charente)*. Paris: H. Welter.

Rubin, P., Saltzman, E., Goldstein, L., Mcgowan, R., Tiede, M., & Browman, C. (1996). Casy and extensions to the task-dynamic model. In *proceedings of the 5th Speech production seminar* (pp. 125–128). Autrans.

Rumelhart, D. E., & Norman, D. A. (1982). Simulating a Skilled Typist: A Study of Skilled Cognitive-Motor Performance. *Cognitive Science*, *6*(1), 1–36.

Saïb, J. (1977). The treatment of geminates: evidence from Berber. *Studies in African Linguistics*, *8*, 299–316.

Saltzman, E. L. (1986). Task dynamic coordination of the speech articulators: a preliminary model. In *Heuer H., Fromm C., eds., Experimental Brain Research Series* (Vol. 15, pp. 129–144). New York, Spinger-Verlag.

Saltzman, E. L., & Byrd, D. (2000). Task-dynamics of gestural timing: phase windows and multi-frequency rhythms. *Human Movement Science*, *19*, 499–526.

Saltzman, E. L., & Munhall, K. G. (1989). A dynamical approach to gestural patterning in speech production. *Ecological Psychology*, *1*, 333–382.

Saltzman, E. L., Rubin, P. E., Goldstein, L., & Browman, C. P. (1987). Task-dynamic modeling of interarticulator coordination. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *82*(S1), S15–S15.

Sampson, G. (1973). Duration in Hebrew consonants. *Linguistic Inquiry*, *4*, 101–104.

Santerre, L. (1971). *Les voyelles orales dans le français parlé à montréal* (Thèse de doctorat). Université des Sciences humaines de Strasbourg.

Schein, B. (1981). Spirantization in Tigrinya. *Theoretical Issues in the Grammar of Semitic Languages: MIT Working Papers in Linguistics*, *3*, 32–42.

Schein, B., & Steriade, D. (1986). On geminates. *Linguistic Inquiry*, *17*, 691–744.

Selkirk, E. (1990). A two root theory of length. *UMOP*, *14*, 123–171.

Sherzer, J. (1975). A problem in Cuna phonology. *Jornal of the Linguistic Association of the Southwest*, *1*, 45–53.

Sievers, E. (1876). *Grundzüge der Lautphysiologie*. Leipzig: Breitkopf & Härtel.

Sifakis, E., Selle, A., Robinson-Mosher, A., & Fedkiw, R. (2006). Simulating Speech with a Physics-based Facial Muscle Model. In *Proceedings of the 2006 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation* (pp. 261–270). Aire-la-Ville, Switzerland: Eurographics Association.

Simon, P. (1967). *Les consonnes françaises mouvements et positions articulatoires à la lumière de la radiocinématographie*. Paris: C. Klincksieck.

Simon, P., Brock, G., & Zerling, J. P. (2010). Histoire du radiocinéma à l'institut de phonétique de strasbourg. *Travaux de l'Institut de Phonétique de Strasbourg*, *35*(b), 1–214.

Smith, C. L. (1995). Prosodic patterns in the coordination of vowel and consonant gestures,. *Laboratory Phonology*, *IV*, 205–222.

Sock, R. (1983). *L'organisation temporelle de l'opposition de quantité vocalique en wolof de Gambie. Sa résistivité aux conditions de durée segmentales et suprasegmentales* (Thèse de 3e cycle). Institut de Phonétique de Grenoble, Université de Grenoble III.

Sock, R. (1998). *Organisation temporelle en production de la parole. Émergence de catégories sensori-motrices phonétiques.* (Doctorat d'état). Université Marc Bloch, Strasbourg.

Sock, R., Delattre, P. C., Doublier, D., & Zohair, L. (1989). Comment faire deux fois de suite la même chose à la fois. Stratégies de cinq locuteurs du français. In *Actes du Séminaire Variabilité et Spécificité du Locuteur : Etudes et Applications* (pp. 108–115). Marseille Luminy.

Sock, R., Hirsch, F., Laprie, Y., Perrier, P., Vaxelaire, B., Brock, G., … Sturm, J. (2011). An X-ray database, tools and procedures for the study of speech production. In *Proceedings of the 9th International Seminar on Speech Production (ISSP2011)* (pp. 41–48). Montréal.

Sock, R., & Löfqvist, A. (1995). Some Timing Constraints in the Production of Bilabial Stops. *Journal of Phonetics*, *23*, 129–138.

Sock, R., Lofqvist, A., & Perrier, P. (1996). kinematic and acoustic correlates of quantity in swedish and wolof: A cross language study. In *Proceedings of the 4th Speech Production Seminar* (pp. 81–84). Grenoble.

Sock, R., & Vaxelaire, B. (2001). Réflexions sur le timing de la quantité. *Travaux de l'Institut de Phonétique de Strasbourg, TIPS*, *31*, 89–126.

Sock, R., & Vaxelaire, B. (2004). *L'anticipation: A l'horizon du Présent*. Editions Mardaga.

Sock, R., Vaxelaire, B., Roy, J. P., Ferbach-Hecker, V., & Hirsch, F. (2005). Temporal and spatial correlates of quantity contrasts in Wolof. Acoustic, kinematic and X-ray data. In J. Harrington & M. Tabain (Eds.), *In Speech Production. Models, phonetic processes, and tehniques* (pp. 253–273). New York and Hove: Psychology Press.

Steriade, D. (1982). *Greek prosodies and the nature of syllabification*. MIT, Cambridge, Mass.

Stetson, R. H. (1951). *Motor Phonetics : A Study of Speech Movements in Action* (2nd ed). Amsterdam: North Holland Publishing Co.

Stevens, K. N. (1972). The quantal nature of speech: evidence from articulatory acoustic data. In P. B. Denes & E. E. Davis Jr (Eds.), *In Human Communication: a Unified View* (pp. 51–66). New York: McGraw-Hill Book Company.

Stevens, K. N. (1985). Evidence for the role of acoustic boundaries in the perception of speech sounds. In V. A. Fromkin (Ed.), *Phonetic Linguistics: Essays in honor of Peter Ladefoged* (pp. 243–255). New York: Academic Press.

Stevens, K. N. (1989). On the quantal nature of speech. *Journal of Phonetics*, *17*, 3–45.

Stevens, K. N. (1991). Speech perception based on acoustic landmarks: implications for speech production. In *Phonetic Experimental Research at the Institute of Linguistics,*

University of Stockholm (pp. 83–88). University of Stockholm, Sweden: Institute of Linguistics.

Stevens, K. N. (2000). *Acoustic Phonetics*. MIT Press.

Stevens, K. N. (2002). Toward a model for lexical access based on acoustic landmarks and distinctive features. *Journal of the Acoustic Society of America*, *111*(4), 1872–1891.

Stevens, K. N. (2005). Features in speech perception and lexical access. In D. E. Pisoni & R. E. Remez (Eds.), *Handbook of Speech Perception* (pp. 125–155). Cambridge: MA, Blackwell.

Stevens, K. N., & Blumstein, S. E. (1978). Invariant cues for place of articulation in stop consonants. *Journal of the Acoustical Society of America*, *64*(5), 1358–1368.

Stevens, K. N., & House, A. S. (1963). Perturbation of vowel articulations by consonantal context: An acoustical study. *Journal of Speech and Hearing Research*, *6*, 111–128.

Stevens, K. N., Keyser, S. J., & Kawasaki, H. (1986). Toward a phonetic and phonological theory of redundant features. In J. S. Perkell & D. H. Klatt (Eds.), *Invariance and variability in speech processes* (pp. 426–463). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Straka, G. (1963). La division des sons du langage en voyelles et consonnes peut-elle être justifiée? *TRALILI, Strasbourg*, *1*, 17–100.

Suomi, K. (1980). *Voicing in English and Finnish Stops: A Typological Comparison with an Interlanguage Study of the Two Languages in Contact*. Turku: Turun yliopisto.

Swadesh, M. (1937). The Phonemic Interpretation of Long Consonants. *Language*, *13*(1), 1–10.

Takeyasu, H. (2012). Sokuon-no chikaku-ni taisuru senkoo onsetsu shiin boin-no jizokujikanno eikyoo [effects of the consonant and vowel durations in the preceding syllable on the perception of geminate stops in japanese]. *Onin Kenkyuu [Phonological Studies]*, *15*, 67–78.

Terzopoulos, D., & Waters, K. (1993). Analysis and synthesis of facial image sequences using physical and anatomical models. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, *15*(6), 569–579.

Thimm, G., & Luettin, J. (1999). Extraction Of Articulators In X-Ray Image Sequences. In *Proceedings of Eurospeech*. Hungary.

Thurgood, G. (1993). Geminates: A cross-linguistic examination. In J. Nevis, G. McMenamin, & G. Thurgood (Eds.), *Papers in honor of Frederick Brengelman on the occasion of the twenty-fifth anniversary of the Department of Linguistics.* (pp. 129–139). Fresno:California State University.

Topintzi, N. (2008). On the existence of moraic onset geminates. *Natural Language & Linguistic Theory*, *26*(1), 147–184.

Troubetzkoy, N. S. (1939). *Grundzüge der Phonologie. Traduction française,*. Paris, Klincksieck.: J. Cantineau, 1949, Principes de Phonologie,.

Vaxelaire, B. (1993). *Étude comparée des effets des variations de débit, lent, rapide, sur les paramètres articulatoires, à partir de la cinéradiographie (sujets français)* (Thèse de Doctorat). Université Marc Bloch, Strasbourg.

Vaxelaire, B. (1995a). Etude acoustique et articulatoire des consonnes simples et doubles du français, en fonction de la vitesse d'élocution. Données cinéradiographiques et acoustiques. *Travaux de l'Institut de Phonétique de Strasbourg. TIPS*, *25*, 67–93.

Vaxelaire, B. (1995b). Single vs. double (abutted) consonants across speech rate. X-ray and acoustic data for French. In *Proceedings of the 13th International Conference on Phonetic Sciences* (Vol. 1, pp. 384–387). Stockholm.

Vaxelaire, B. (2006). La Résistivité spatio-temporelle des gestes linguistiques. Ou perturber le linguistique en augmentant la vitesse d'élocution. In B. Vaxelaire, R. Sock, G. Kleiber, & F. Marsac (Eds.), *Perturbations et réajustements : langue et langage* (pp. 179–199). Publications de l'Université Marc Bloch – Strasbourg Ville (sous presse).

Vaxelaire, B. (2007). *Le geste et la production de la parole. Résultats et implications d'études cinéradiographiques quantitatives* (Habilitation à Diriger des Recherches). Université Marc Bloch, Strasbourg II.

Vaxelaire, B., Marchal, A., Hirsch, F., & Sock, R. (2009). Apports des techniques radiologiques et de la radiocinématographie à l'étude de la production de la parole. In A. Marchal & Cavé (Eds.), *Imagerie médicale pour l'étude de la parole* (pp. 125–145). Hermès Sciences.

Vaxelaire, B., & Sock, R. (1997). Laryngeal movements and speech rate, an X-ray investigation. In *Eurospeech'97 & 5th European Conference on Speech Communication and Technology,* (Vol. 2, pp. 1039–1042). Rhodes, Grèce.

Vaxelaire, B., Sock, R., & Hecker, V. (1999). Perceiving anticipatory phonetic gestures in French. In *6th European Conference on Speech Communication and Technology* (Vol. 1, pp. 165–168). Budapest, Hungary.

Wilhelms-Tricarico, R. (1995). Physiological modeling of speech production: methods for modeling soft-tissue articulators. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *97*(5 Pt 1), 3085–3098.

Wood, S. A. J. (1991). A radiographic analysis of constriction locations for vowels. *Papers in Speech Communication. Speech Production (Reprinted from Journal of Phonetics 7, 1979, p.25-43).*

Younes, R. (1983). *The Representation of Geminate Consonants*. manuscript, University of Texas, Austin.

16 Index des figures

Figure 1 : Ellipses de dispersion sur F1/F2 pour les voyelles du tarifit en contexte neutre (en majuscules) et emphatique (en minuscules) ; (adapté de Louali & Puech, 1998) 23
Figure 2 : Trajectoire de diphtongues [ɛæ] (ir) et [ɔɑ] (ur) d'un locuteur du tarifit de Temsamane (adapté de Louali & Puech, 1998) 25
Figure 3 : coupes sagittales du conduit vocal pour /aka/ (lignes continues) *vs.* /akka/ (lignes discontinues), en vitesse d'élocution normale (à gauche) et pour /ada / (lignes continues) *vs.* /adda/ (lignes discontinues), en vitesse d'élocution normale (à droite). D'après Vaxelaire, (1995a). 67
Figure 4 : Non-linéarité du passage d'un paramètre de commande articulatoire à un paramètre de sortie acoustique dans le paradigme de base de la Théorie Quantique. (Adaptée de Stevens, 1989)..... 82
Figure 5 : Domaines d'hyper- et d'hypo-articulation en parole, en fonctions des informations du contexte et des informations dans le signal, selon la Théorie de la Variabilité Adaptative. (Adaptée de Lindblom, 1987, in Béchet (2011)). 86
Figure 6 : Schématisation du modèle dynamique à deux niveaux pour la production de la parole. La flèche de gauche indique les commandes d'activation gestuelle et celle de droite le feedback de l'état du système physique de production. (d'après Saltzman & Munhall 1989).88
Figure 7 : La Coupe sagittale du conduit vocal en sortie du synthétiseur articulatoire de Haskins Laboratories. Les variables du conduit vocal (positions et degrés des constrictions) y sont montrées de manière schématique. (D'après Browman & Goldstein, 1989). 90
Figure 8 : Partition gestuelle pour le mot anglais "Palm" d'après . Browman & Goldstein (1992) 91
Figure 9 : Les sept paramètres du modèle de Maeda (1990) 93
Figure 10 : Optimisation des trajectoires dans l'espace articulatoire selon le « modèle à fenêtres » (adapté de Keating, 1988)..... 96
Figure 11 : Exemple d'implémentations anatomiques du muscle. En haut à gauche : la localisation des parties intérieure (gris foncé), médiane (gris clair) et postérieure (gris) du muscle gélioglosse dans la langue, à droite, les microfibres pour le muscle genioglosse et le muscle styloglosse dans le modèle de la langue (Buchaillard, Perrier, & Payan, 2009). En bas à gauche, la description volumétrique du muscle orbiculaire de la bouche dans le modèle facial ; à droite : les microfibres du muscle principal dans le modèle facial (partie gauche) (Nazari *et al.*, 2010 in Perrier *et al.* (2011))..... 98
Figure 12 : Trois courbes correspondant aux gestes de (a) occlusive géminée, (b) amplitude réduite et occlusion abrégée et (c) spirantisation. (Adapté de Kirchner, 2000). 101
Figure 13 : Le processus de lénition modifie la courbe d'une occlusive géminée (a) à une fricative géminée (b). (Adapté de Kirchner, 2000). 101
Figure 14 : A gauche, un exemple théorique de la compression d'un segment acoustique ou articulatoire avec l'augmentation de la vitesse d'élocution. A droite, une visualisation de la simplification hypothétique du profil de vitesse associé à un geste critique 109
Figure 15 : Paramètres intrasegmentaux du signal acoustique de la séquence [ata]..... 119
Figure 16 : paramètres intrasegmentaux du signal acoustique de la séquence [ada] 120
Figure 17 : Paramètres intersegmentaux du signal acoustique de la séquence [asa] 120
Figure 18 : Schéma de la salle de radiologie lors de l'acquisition des films cinéradiographiques (d'après Vaxelaire, 2007). 125
Figure 19 : Représentation d'une photographie réalisée au moment de l'acquisition du film cinéradiographique..... 126
Figure 20 : Installation de cinéradiographie et exemples d'images extraites de radiofilms (Vaxelaire *et al.*, 2009)..... 127
Figure 21 : La tige réalise un mouvement vers le bas et provoque au contact de l'aimant un bruit que l'on retrouve sur le signal acoustique**.** 127

Figure 22 : Illustration de la coordination motrice entre plusieurs articulateurs dans une séquence [iky] (in Vaxelaire *et al*., 2009). 128
Figure 23 : Exemple d'un plan de travail avec projecteur utilisé pour le traçage manuel des radiogrammes (à gauche), et un exemple d'une grille de référence projetée sur le plan de travail (*à droite*). (in Vaxelaire *et al*., 2009). 129
Figure 24 : Exemple de croquis de radiogramme (d'après Vaxelaire, 2007) 130
Figure 25 : Interface de X-Articulators (LORIA, Nancy). 130
Figure 26 : Exemple de grille de mesures. 131
Figure 27 : Radiographie d'une vue sagittale du conduit vocal 132
Figure 28 : L'image de référence de la mâchoire qui apparait sur toutes les autres images .. 133
Figure 29 : Le cas d'un os hyoïde remonté et partiellement caché par la mandibule 134
Figure 30 : Image cinéradiographique présentant les contours utilisés pour l'épiglotte et le larynx. 135
Figure 31 : Les régions utilisées pour le recalage des images cinéradiographique. 136
Figure 32 : Repère géométrique utilisé pour la mesure de la position des articulateurs ou de la constriction. 137
Figure 33 : Valeurs intersegmentales /ata/ *vs.* /atta/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S = simples et G = géminées). 141
Figure 34 : Valeurs intrasegmentales /ata/ *vs.* /atta/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S = simples et G = géminées). 142
Figure 35 : Valeurs intersegmentales /aka/ *vs.* /akka/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S = simples et G = géminées). 143
Figure 36 : Valeurs intrasegmentales /aka/ *vs.* /akka/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S = simples et G = géminées). 143
Figure 37 : Valeurs intersegmentales /aqa/ *vs.* /aqqa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S = simples et G = géminées). 144
Figure 38 : Valeurs intrasegmentales /aqa/ *vs.* /aqqa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S = simples et G = géminées). 145
Figure 39 : Valeurs intersegmentales des occlusives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite. 147
Figure 40 : Valeurs intrasegmentales des occlusives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite. 149
Figure 41 : Valeurs intersegmentales des occlusives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite. 152
Figure 42 : Valeurs intrasegmentales des occlusives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite. 153
Figure 43 : Valeurs intersegmentales des occlusives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite. 155
Figure 44 : Valeurs intrasegmentales des occlusives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite. 157
Figure 45 : Valeurs intersegmentales des occlusives sonores en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite. 159
Figure 46 : Valeurs intrasegmentales les occlusives sonores en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite. 161
Figure 47 : Valeurs intersegmentales des occlusives sonores en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite. 163
Figure 48 : Valeurs intrasegmentales des occlusives sonores en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite. 164
Figure 49 : Valeurs intersegmentales des occlusives sonores en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite. 166
Figure 50 : Valeurs intersegmentales des constrictives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite. 169

Figure 51 : Valeurs intersegmentales des constrictives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite. 170
Figure 52 : Valeurs intersegmentales des constrictives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite. 172
Figure 53 : Valeurs intersegmentales des constrictives sonores en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite. 174
Figure 54 : Valeurs intersegmentales des constrictives sonores en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite. 175
Figure 55 : Valeurs intersegmentales des constrictives sonores en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesses d'élocution rapide à droite. 177
Figure 56 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ata/ (à gauche) et /atta/ (à droite) ; locuteur Kh. 184
Figure 57 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ata/ (à gauche) et /atta/ (à droite) ; locuteur F 185
Figure 58 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aka/ (à gauche) et /akka/ (à droite) ; locuteur Kh 187
Figure 59 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aka/ (à gauche) et /akka/ (à droite) ; locuteur F 188
Figure 60 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aqa/ (à gauche) et /aqqa/ (à droite) ; locuteur Kh 189
Figure 61 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aqa/ (à gauche) et /aqqa/ (à droite) ; locuteur F 190
Figure 62 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ada/ (à gauche) et /adda/ (à droite) ; locuteur Kh 193
Figure 63 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ada/ (à gauche) et /adda/ (à droite) ; locuteur F 193
Figure 64 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aga/ (à gauche) et /agga/ (à droite) ; locuteur Kh 194
Figure 65 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aga/ (à gauche) et /agga/ (à droite) ; locuteur F 194
Figure 66 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /asa/ (à gauche) et /assa/ (à droite) ; locuteur Kh 196
Figure 67 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /asa/ (à gauche) et /assa/ (à droite) ; locuteur F 196
Figure 68 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aʃa/ (à gauche) et /aʃʃa/ (à droite) ; locuteur Kh 197
Figure 69 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aʃa/ (à gauche) et /aʃʃa/ (à droite) ; locuteur F 197

Figure 70 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aza/ (à gauche) et /azza/ (à droite) ; locuteur Kh 199
Figure 71 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aza/ (à gauche) et /azza/ (à droite) ; locuteur F 199
Figure 72 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aʒa/ (à gauche) et /aʒʒa/ (à droite) ; locuteur Kh 200
Figure 73 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aʒa/ (à gauche) et /aʒʒa/ (à droite) ; locuteur F 200
Figure 74 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ta/ (à gauche) et /tta/ (à droite) ; locuteur Kh 202
Figure 75 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ta/ (à gauche) et /tta/ (à droite) ; locuteur F 202
Figure 76 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ka/ (à gauche) et /kka/ (à droite) ; locuteur Kh 203
Figure 77 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ka/ (à gauche) et /kka/ (à droite) ; locuteur F 203
Figure 78 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /qa/ (à gauche) et /qqa/ (à droite) ; locuteur Kh 204
Figure 79 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /qa/ (à gauche) et /qqa/ (à droite) ; locuteur F 204
Figure 80 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /da/ (à gauche) et /dda/ (à droite) ; locuteur Kh 206
Figure 81 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /da/ (à gauche) et /dda/ (à droite) ; locuteur F 206
Figure 82 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ga/ (à gauche) et /gga/ (à droite) ; locuteur Kh 206
Figure 83 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ga/ (à gauche) et /gga/ (à droite) ; locuteur F 207
Figure 84 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /sa/ (à gauche) et /ssa/ (à droite) ; locuteur Kh 208
Figure 85 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /sa/ (à gauche) et /ssa/ (à droite) ; locuteur F 208
Figure 86 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ʃa/ (à gauche) et /ʃʃa/ (à droite) ; locuteur Kh 209

Figure 87 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ʃa/ (à gauche) et /ʃʃa/ (à droite) ; locuteur F 209
Figure 88 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /za/ (à gauche) et /zza/ (à droite) ; locuteur Kh 210
Figure 89 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /za/ (à gauche) et /zza/ (à droite) ; locuteur F 211
Figure 90 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ʒa/ (à gauche) et /ʒʒa/ (à droite) ; locuteur Kh 211
Figure 91 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ʒa/ (à gauche) et /ʒʒa/ (à droite) ; locuteur F 211
Figure 92 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /at/ (à gauche) et /att/ (à droite) ; locuteur Kh 212
Figure 93 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /at/ (à gauche) et /att/ (à droite) ; locuteur F 213
Figure 94 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ak/ (à gauche) et /akk/ (à droite) ; locuteur Kh 213
Figure 95 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ak/ (à gauche) et /akk/ (à droite) ; locuteur F 214
Figure 96 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aq/ (à gauche) et /aqq/ (à droite) ; locuteur Kh 214
Figure 97 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aq/ (à gauche) et /aqq/ (à droite) ; locuteur F 215
Figure 98 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ad/ (à gauche) et /add/ (à droite) ; locuteur Kh 216
Figure 99 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ad/ (à gauche) et /add/ (à droite) ; locuteur F 217
Figure 100 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ag/ (à gauche) et /agg/ (à droite) ; locuteur Kh 217
Figure 101 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ag/ (à gauche) et /agg/ (à droite) ; locuteur F 218
Figure 102 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /as/ (à gauche) et /ass/ (à droite) ; locuteur Kh 219
Figure 103 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /as/ (à gauche) et /ass/ (à droite) ; locuteur F 219

Figure 104 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aʃ/ (à gauche) et /aʃʃ/ (à droite) ; locuteur Kh 220
Figure 105 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aʃ/ (à gauche) et /aʃʃ/ (à droite) ; locuteur F 220
Figure 106 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /az/ (à gauche) et /azz/ (à droite) ; locuteur Kh 222
Figure 107 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /az/ (à gauche) et /azz/ (à droite) ; locuteur F 222
Figure 108 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aʒ/ (à gauche) et /aʒʒ/ (à droite) ; locuteur Kh 222
Figure 109 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /aʒ/ (à gauche) et /aʒʒ/ (à droite) ; locuteur F 223
Figure 110 : Gestes du larynx (déplacement vertical) et de l'os hyoïde (déplacements vertical et horizontal) pour la séquence /uta/. L'axe des ordonnées montre le déplacement de ces structures (mm) et l'axe des abscisses indique le temps, une image toutes les 20 ms (Adapté de Vaxelaire & Sock, 1997). 225
Figure 111 : Gestes du larynx (déplacement vertical) et de l'os hyoïde (déplacements vertical et horizontal) pour la séquence /uka/. L'axe des ordonnées montre le déplacement de ces structures (mm) et l'axe des abscisses indique le temps, une image toutes les 20 ms (Adapté de Vaxelaire & Sock, 1997). 226
Figure 112 : Une analyse image par image de la séquence /upa/ en vitesses d'élocution normale (à gauche) et rapide (à droite). On voit sur la figure que le timing relatif des gestes du dos de la langue et du larynx est comparable dans les deux conditions de vitesse d'élocution (Adapté de Vaxelaire & Sock, 1997). 227
Figure 113 : Vues de profil pour la production du /u/ (à gauche) et du /a/ (à droite), en vitesses d'élocution normale (ligne continue) et rapide (pointillés). Remarquer une position plus élevée du larynx et de l'os hyoïde en vitesse d'élocution rapide (Adapté de Vaxelaire & Sock, 1997) 228
Figure 114 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ata/ (à gauche) et /atta/ (à droite) ; locuteur Kh 231
Figure 115 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ata/ (à gauche) et /atta/ (à droite) ; locuteur F 231
Figure 116 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aka/ (à gauche) et /akka/ (à droite) ; locuteur Kh 231
Figure 117 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aka/ (à gauche) et /akka/ (à droite) ; locuteur F 232
Figure 118 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aqa/ (à gauche) et /aqqa/ (à droite) ; locuteur Kh 232
Figure 119 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aqa/ (à gauche) et /aqqa/ (à droite) ; locuteur F 232
Figure 120 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ita/ (à gauche) et /itta/ (à droite) ; locuteur Kh 233
Figure 121 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ata/ (à gauche) et /atta/ (à droite) ; locuteur F 234
Figure 122 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ika/ (à gauche) et /ikka/ (à droite) ; locuteur Kh 234

Figure 123 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ika/ (à gauche) et /ikka/ (à droite) ; locuteur F 234
Figure 124 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iqa/ (à gauche) et /iqqa/ (à droite) ; locuteur Kh 235
Figure 125 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iqa/ (à gauche) et /iqqa/ (à droite) ; locuteur F 235
Figure 126 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ati/ (à gauche) et /atti/ (à droite) ; locuteur Kh 236
Figure 127 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ati/ (à gauche) et /atti/ (à droite) ; locuteur F..... 236
Figure 128 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aki/ (à gauche) et /akki/ (à droite) ; locuteur Kh 237
Figure 129 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aki/ (à gauche) et /akki/ (à droite) ; locuteur Kh 237
Figure 130 : Étendue de contact (/t/ =5mm) du locuteur F. 241
Figure 131 : Étendue de contact (/tt/ =11mm) du locuteur F. 242
Figure 132 : Étendue de contact (/k/ =11mm) du locuteur F. 243
Figure 133 : Étendue de contact (/kk/ =18mm) du locuteur F. 244
Figure 134 : Étendue de contact (/q/ =13mm) du locuteur F. 245
Figure 135 : Étendue de contact (/qq/ =20mm) du locuteur F. 246
Figure 136 : Étendue de contact (/d/ =5mm) du locuteur F. 247
Figure 137 : Étendue de contact (/dd/ =10mm) du locuteur F. 248
Figure 138 : Étendue de contact (/g/ =11mm) du locuteur F. 249
Figure 139 : Étendue de contact (/gg/ =18mm) du locuteur F. 250
Figure 140 : Étendue de contact (mm) et la durée de la tenue articulatoire (ms) des occlusives sourdes en position intervocalique, pour le locuteur F, (à gauche) et Kh, (à droite). 251
Figure 141 : Étendue de contact (mm) et la durée de la tenue articulatoire des occlusives sonores en position intervocalique pour le locuteur F (à gauche) et Kh (à droite). 252
Figure 142 : Étendue de contact (mm) et la durée de la tenue articulatoire des occlusives sourdes et sonores en positions initiale, intervocalique et finale pour les locuteurs F et Kh. 252
Figure 143 : Étendue de contact (mm) et la durée acoustique (ms) des occlusives sourdes en position intervocalique pour le locuteur F (à gauche) et Kh (à droite). 253
Figure 144 : Étendue de contact (mm) et la durée acoustique (ms) des occlusives sonores en position intervocalique pour le locuteur F (à gauche) et Kh (à droite). 253
Figure 145 : Durée de la tenue articulatoire et la durée acoustique (ms) des occlusives sourdes en position intervocalique pour le locuteur F (à gauche) et Kh (à droite). 254
Figure 146 : Durée de la tenue articulatoire et la durée acoustique (ms) des occlusives sonores en position intervocalique pour le locuteur F (à gauche) et Kh (à droite). 254
Figure 147 : Durée de la tenue articulatoire et la durée acoustique (ms) des constrictives sourdes en position intervocalique pour le locuteur F (à gauche) et Kh (à droite). 255
Figure 148 : Durée de la tenue articulatoire et la durée acoustique (ms) des constrictives sonores en position intervocalique pour le locuteur F (à gauche) et Kh (à droite). 255
Figure 149 : Les valeurs intersegmentales /ata/ *vs*. /atta/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 315
Figure 150 : Les valeurs intrasegmentales /ata/ *vs*. /atta/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 316
Figure 151 : Les valeurs intersegmentales /aka/ *vs*. /akka/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 317
Figure 152 : Les valeurs intrasegmentales /aka/ *vs*. /akka/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 318

Figure 153 : Les valeurs intersegmentales /aqa/ *vs*. /aqqa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 319
Figure 154 : Les valeurs intrasegmentales /aqa/ *vs*. /aqqa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 320
Figure 155 : Les valeurs intersegmentales /ta/ *vs*. /tta/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée)..... 321
Figure 156 : Les valeurs intrasegmentales /ta/ *vs*. /tta/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée)..... 322
Figure 157 : Les valeurs intersegmentales /ka/ *vs*. /kka/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 323
Figure 158 : Les valeurs intrasegmentales /ka/ *vs*. /kka/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 324
Figure 159 : Les valeurs intersegmentales /qa/ *vs*. /qqa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 325
Figure 160 : Les valeurs intrasegmentales /qa/ *vs*. /qqa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 326
Figure 161 : Les valeurs intersegmentales /at/ *vs*. /att/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée)..... 327
Figure 162 : Les valeurs intrasegmentales /at/ *vs*. /att/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée)..... 328
Figure 163 : Les valeurs intersegmentales /ak/ *vs*. /akk/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 329
Figure 164 : Les valeurs intrasegmentales /ak/ *vs*. /akk/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 330
Figure 165 : Les valeurs intersegmentales /aq/ *vs*. /aqq/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 331
Figure 166 : Les valeurs intrasegmentales /aq/ *vs*. /aqq/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 332
Figure 167 : Les valeurs intersegmentales /ada/ *vs*. /adda/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 333
Figure 168 : Les valeurs intrasegmentales /ada/ *vs*. /adda/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 334
Figure 169 : Les valeurs intersegmentales /aga/ *vs*. /agga/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 335
Figure 170 : Les valeurs intrasegmentales /aga/ *vs*. /agga/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 336
Figure 171 : Les valeurs intersegmentales /da/ *vs*. /dda/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 337
Figure 172 : Les valeurs intrasegmentales /ta/ *vs*. /tta/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée)..... 338
Figure 173 : Les valeurs intersegmentales /ga/ *vs*. /gga/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 339
Figure 174 : Les valeurs intrasegmentales /ga/ *vs*. /gga/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 340
Figure 175 : Les valeurs intersegmentales /ad/ *vs*. /add/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 341
Figure 176 : Les valeurs intersegmentales /ag/ *vs*. /agg/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 342
Figure 177 : Les valeurs intersegmentales /asa/ *vs*. /assa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 343
Figure 178 : Les valeurs intersegmentales /aʃa/ *vs*. /aʃʃa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 344

Figure 179 : Les valeurs intersegmentales /sa/ *vs*. /ssa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 345
Figure 180 : Les valeurs intersegmentales /ʃa/ *vs*. /ʃʃa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 346
Figure 181 : Les valeurs intersegmentales /as/ *vs*. /ass/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 347
Figure 182 : Les valeurs intersegmentales /aʃ/ *vs*. /aʃʃ/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 348
Figure 183 : Les valeurs intersegmentales /aza/ *vs*. /azza/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 349
Figure 184 : Les valeurs intersegmentales /aʒa/ *vs*. /aʒʒa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 350
Figure 185 : Les valeurs intersegmentales /za/ *vs*. /zza/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 351
Figure 186 : Les valeurs intersegmentales /ʒa/ *vs*. /ʒʒa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 352
Figure 187 : Les valeurs intersegmentales /az/ *vs*. /azz/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 353
Figure 188 : Les valeurs intersegmentales /aʒ/ *vs*. /aʒʒ/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée). 354
Figure 189 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ada/ (à gauche) et /adda/ (à droite) ; locuteur Kh 355
Figure 190 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ada/ (à gauche) et /adda/ (à droite) ; locuteur F 355
Figure 191 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aga/ (à gauche) et /agga/ (à droite) ; locuteur Kh 356
Figure 192 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aga/ (à gauche) et /agga/ (à droite) ; locuteur F 356
Figure 193 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /asa/ (à gauche) et /assa/ (à droite) ; locuteur Kh 356
Figure 194 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /asa/ (à gauche) et /assa/ (à droite) ; locuteur F 357
Figure 195 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aʃa/ (à gauche) et /aʃʃa/ (à droite) ; locuteur Kh 357
Figure 196 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aʃa/ (à gauche) et /aʃʃa/ (à droite) ; locuteur F 357
Figure 197 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aza/ (à gauche) et /azza/ (à droite) ; locuteur Kh 358
Figure 198 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aza/ (à gauche) et /azza/ (à droite) ; locuteur F 358
Figure 199 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aʒa/ (à gauche) et /aʒʒa/ (à droite) ; locuteur Kh 358
Figure 200 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aʒa/ (à gauche) et /aʒʒa/ (à droite) ; locuteur F 359
Figure 201 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /da/ (à gauche) et /dda/ (à droite) ; locuteur Kh 359
Figure 202 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ida/ (à gauche) et /idda/ (à droite) ; locuteur F 359
Figure 203 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iga/ (à gauche) et /igga/ (à droite) ; locuteur Kh 360
Figure 204 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iga/ (à gauche) et /igga/ (à droite) ; locuteur F 360

Figure 205 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /isa/ (à gauche) et /issa/ (à droite) ; locuteur Kh 360
Figure 206 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /isa/ (à gauche) et /issa/ (à droite) ; locuteur F 361
Figure 207 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iʃa/ (à gauche) et /iʃʃa/ (à droite) ; locuteur Kh 361
Figure 208 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iʃa/ (à gauche) et /iʃʃa/ (à droite) ; locuteur F..... 361
Figure 209 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iza/ (à gauche) et /izza/ (à droite) ; locuteur Kh 362
Figure 210 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iza/ (à gauche) et /izza/ (à droite) ; locuteur F..... 362
Figure 211 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iʒa/ (à gauche) et /iʒʒa/ (à droite) ; locuteur Kh..... 362
Figure 212 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iʒa/ (à gauche) et /iʒʒa/ (à droite) ; locuteur F 363
Figure 213 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aqi/ (à gauche) et /aqqi/ (à droite) ; locuteur Kh 363
Figure 214 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aqi/ (à gauche) et /aqqi/ (à droite) ; locuteur F 363
Figure 215 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /adi/ (à gauche) et /addi/ (à droite) ; locuteur Kh 364
Figure 216 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /adi/ (à gauche) et /addi/ (à droite) ; locuteur F 364
Figure 217 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /agi/ (à gauche) et /aggi/ (à droite) ; locuteur Kh 364
Figure 218 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /agi/ (à gauche) et /aggi/ (à droite) ; locuteur F 365
Figure 219 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /asi/ (à gauche) et /assi/ (à droite) ; locuteur Kh..... 365
Figure 220 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /asi/ (à gauche) et /assi/ (à droite) ; locuteur F 365
Figure 221: Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aʃi/ (à gauche) et /aʃʃi/ (à droite) ; locuteur Kh 366
Figure 222: Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aʃi/ (à gauche) et /aʃʃi/ (à droite) ; locuteur F 366
Figure 223: Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /azi/ (à gauche) et /azzi/ (à droite) ; locuteur Kh..... 366
Figure 224 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /azi/ (à gauche) et /azzi/ (à droite) ; locuteur F..... 367
Figure 225 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aʒi/ (à gauche) et /aʒʒi/ (à droite) ; locuteur Kh..... 367
Figure 226 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aʒi/ (à gauche) et /aʒʒi/ (à droite) ; locuteur F 367
Figure 227 : Étendue de contact (Kh : /t/=6mm) 369
Figure 228 : Étendue de contact (Kh : /tt/=9mm) 370
Figure 229 : Étendue de contact (Kh : /k/=13mm)..... 371
Figure 230 : Étendue de contact (Kh : /kk/=20mm)..... 372
Figure 231 : Étendue de contact (/q/=7mm) Locuteur Kh 373
Figure 232 : Étendue de contact (Kh : /qq/=20mm)..... 374
Figure 233 : Étendue de contact (Kh : /d/=5mm)..... 375
Figure 234 : Étendue de contact (Kh : /dd/=9mm)..... 376

Figure 235 : Étendue de contact (Kh : /g/=13mm)..... 377
Figure 236 : Étendue de contact (Kh : /gg/=20mm)..... 378
Figure 237 : Étendue de contact (F= /t/=5mm) 379
Figure 238 : Étendue de contact (Kh : /tt/=9mm..... 380
Figure 239 : Étendue de contact (F : /k/=12mm) 381
Figure 240 : Étendue de contact (F : /kk/=21mm) 382
Figure 241 : Étendue de contact (F : /q/=14mm) 383
Figure 242 : Étendue de contact (F : /qq/=26mm) 384
Figure 243 : Étendue de contact (F : /d/=5mm) 385
Figure 244 : Étendue de contact (F : /dd/=11mm) 386
Figure 245 : Étendue de contact (F : /g/=12mm..... 387
Figure 246 : Étendue de contact (F : /gg/=22mm) 388
Figure 247 : Étendue de contact (Kh : /t/=6mm) 389
Figure 248 : Étendue de contact (Kh : /tt/=9mm) 390
Figure 249 : Étendue de contact (Kh : /k/=12mm..... 391
Figure 250 : Étendue de contact (Kh : /kk/= 17mm)..... 392
Figure 251 : Étendue de contact (Kh : /q/=12)..... 393
Figure 252 : Étendue de contact (Kh : /qq/=14mm)..... 394
Figure 253 : Étendue de contact (Kh : /d/=5 mm)..... 395
Figure 254 : Étendue de contact (Kh : /dd/=9mm)..... 396
Figure 255 : Étendue de contact (Kh : /g/=10mm)..... 397
Figure 256 : Étendue de contact (Kh : /gg/=17mm)..... 398
Figure 257 : Étendue de contact (F : /t/=5 mm) 399
Figure 258 : Étendue de contact (F : /tt/= 11mm) 400
Figure 259 : Étendue de contact (F : /k/= 11mm) 401
Figure 260 : Étendue de contact (F : /kk/= 22mm) 402
Figure 261 : Étendue de contact (F : /q/= 11) 403
Figure 262 : Étendue de contact (F : /qq/= 33mm) 404
Figure 263 : Étendue de contact (F : /d/= 4 mm) 405
Figure 264 : Étendue de contact (F : /dd/= 10 mm) 406
Figure 265 : Étendue de contact (F : /g/= 9 mm) 407
Figure 266 : Étendue de contact (F : /gg/= 20mm) 408
Figure 267 : Étendue de contact (Kh : /t/= 6mm) 409
Figure 268 : Étendue de contact (Kh : /tt/= 11mm) 410
Figure 269 : Étendue de contact (Kh : /k/= 11mm)..... 411
Figure 270 : Étendue de contact (Kh : /kk/= 22mm)..... 412
Figure 271 : Étendue de contact (Kh : /q/= 11mm)..... 413
Figure 272 : Étendue de contact (Kh : /qq/= 19 mm)..... 414
Figure 273 : Étendue de contact (Kh : /d/= 6mm)..... 415
Figure 274 : Étendue de contact (Kh : /dd/= 10 mm)..... 416
Figure 275 : Étendue de contact (Kh : /g/= 11mm)..... 417
Figure 276 : Étendue de contact (Kh : /gg/= 18mm)..... 418
Figure 277 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /ʃ/ à gauche et /ʃʃ/ à droite en position intervocalique; locuteur F..... 419
Figure 278 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /s/ à gauche et /ss/ à droite en position intervocalique; locuteur F..... 419
Figure 279 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /K/ à gauche et /KK/ à droite en position intervocalique; locuteur F..... 420
Figure 280 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /t/ à gauche et /tt/ à droite en position intervocalique; locuteur F..... 420
Figure 281 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /q/ à gauche et /qq/ à droite en position intervocalique; locuteur F..... 421

Figure 282 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /z/ à gauche et /zz/ à droite en position intervocalique; locuteur F..... 421
Figure 283 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /ʒ/ à gauche et /ʒʒ/ à droite en position intervocalique; locuteur F..... 422
Figure 284 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /d/ à gauche et /dd/ à droite en position intervocalique; locuteur F..... 422
Figure 285 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /g/ à gauche et /gg/ à droite en position intervocalique; locuteur F..... 423
Figure 286 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /s/ à gauche et /ss/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh..... 423
Figure 287 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /ʃ/ à gauche et /ʃʃ/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh..... 424
Figure 288 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /z/ à gauche et /zz/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh..... 424
Figure 289 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /ʒ/ à gauche et /ʒʒ/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh..... 425
Figure 290 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /t/ à gauche et /tt/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh..... 425
Figure 291 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /k/ à gauche et /kk/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh..... 426
Figure 292 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /q/ à gauche et /qq/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh..... 426
Figure 293 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /d/ à gauche et /dd/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh..... 427
Figure 294 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /ʒ/ à gauche et /ʒʒ/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh..... 427

17 Index des tableaux

Tableau 1 : L'amuïssement du *r* en position coda en tarifit comparé au tamazight 24
Tableau 2 : Le maintien du *r* dans les autres positions en tarifit comparé au tamazight 24
Tableau 3 : Résumé du blocage de la spirantisation dans les géminées dans différentes langues du monde (Kirchner, 2000) 48
Tableau 4 : La spirantisation en position post-vocalique des occlusives en Tigrinya 49
Tableau 5 : description des processus de dévoisement affectant les géminées dans différentes langues (Kirchner, 2000) 53
Tableau 6 : Les occlusives sourdes 117
Tableau 7 : Les occlusives sonores 117
Tableau 8 : Les constrictives sourdes 117
Tableau 9 : Les constrictives sonores 118
Tableau 10 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ata/ et /atta/ en (ms). 142
Tableau 11 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ata/ *vs.* /atta/ en (ms). 142
Tableau 12 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aka/ et /akka/ en (ms). 143
Tableau 13 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aka/ *vs.* /akka/ en (ms). 144
Tableau 14 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aqa/ et /aqqa/ en (ms). 144
Tableau 15 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aqa/ *vs.* /aqqa/ en (ms). 145
Tableau 16 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales des occlusives sourdes en (ms). 148
Tableau 17 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales des occlusives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms). 149
Tableau 18 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales des occlusives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms). 152
Tableau 19 : Valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales des occlusives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms). 154
Tableau 20 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intersegmentales des occlusives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms). 156
Tableau 21: Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intrasegmentales pour des occlusives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms). 157
Tableau 22 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intersegmentales des occlusives sonores en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms). 160
Tableau 23 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intrasegmentales des occlusives sonores en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms). 161
Tableau 24 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intersegmentales des occlusives sonores en vitesses d'élocution normale rapide en (ms). 163
Tableau 25 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées des occlusives sonores en vitesses d'élocution normale rapide en (ms). 165

Tableau 26 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intersegmentales des occlusives sonores en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms). 167
Tableau 27 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intersegmentales des constrictives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms). 169
Tableau 28 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées des constrictives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide. 171
Tableau 29 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intersegmentales des constrictives sourdes en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms). 172
Tableau 30 : Valeurs moyennes et écarts-types des durées intersegmentales des constrictives sonores en vitesses d'élocution normale rapide en (ms). 174
Tableau 31 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intersegmentales des constrictives sonores en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms). 176
Tableau 32 : Valeurs moyennes et les écarts-types des durées intersegmentales des constrictives sonores en vitesses d'élocution normale et rapide en (ms). 177
Tableau 33 : Données correspondant à l'étendue de contact des occlusives en positions initiale, intervocalique et finale du locuteur Kh 239
Tableau 34 : Données correspondant à l'étendue de contact des occlusives en positions initiale, intervocalique et finale du locuteur F 240
Tableau 35 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ata/ et /atta/ en (ms). 315
Tableau 36 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ata/ *vs*. /atta/ en (ms). 316
Tableau 37 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aka/ et /akka/ en (ms). 317
Tableau 38 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aka/ *vs*. /akka/ en (ms). 318
Tableau 39 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aqa/ et /aqqa/ en (ms). 319
Tableau 40 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aqa/ *vs*. /aqqa/ en (ms). 320
Tableau 41 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ta/ et /tta/ en (ms). 321
Tableau 42 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ta/ *vs*. /tta/ en (ms). 322
Tableau 43 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ka/ et /kka/ en (ms). 323
Tableau 44 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ka/ *vs*. /kka/ en (ms). 324
Tableau 45: Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /qa/ et /qqa/ en (ms). 325

Tableau 46: Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /qa/ *vs*. /qqa/ en (ms). 326
Tableau 47 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /at/ et /att/ en (ms)..... 327
Tableau 48 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /at/ *vs*. /att/ en (ms) 328
Tableau 49 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ak/ et /akk/ en (ms). 329
Tableau 50 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ak/ *vs*. /akk/ en (ms). 330
Tableau 51 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aq/ et /aqq/ en (ms). 331
Tableau 52 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aq/ *vs*. /aqq/ en (ms). 332
Tableau 53 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ada/ et /adda/ en (ms). 333
Tableau 54 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ada/ *vs*. /adda/ en (ms). 334
Tableau 55 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aga/ et /agga/ en (ms). 335
Tableau 56 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aga/ *vs*. /agga/ en (ms). 336
Tableau 57 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /da/ et /dda/ en (ms). 337
Tableau 58 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ta/ *vs*. /tta/ en (ms). 338
Tableau 59 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ga/ et /gga/ en (ms). 339
Tableau 60 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ga/ *vs*. /gga/ en (ms). 340
Tableau 61 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ad/ et /add/ en (ms). 341
Tableau 62 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ag/ et /agg/ en (ms). 342

Tableau 63 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /asa/ et /assa/ en (ms). 343
Tableau 64 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aʃa/ et /aʃʃa/ en (ms). 344
Tableau 65 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /sa/ et /ssa/ en (ms). 345
Tableau 66 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ʃa/ et /ʃʃa/ en (ms). 346
Tableau 67 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /as/ et /ass/ en (ms). 347
Tableau 68 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aʃ/ et /aʃʃ/ en (ms). 348
Tableau 69 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aza/ et /azza/ en (ms). 349
Tableau 70 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aʒa/ et /aʒʒa/ en (ms). 350
Tableau 71 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /za/ et /zza/ en (ms). 351
Tableau 72 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ʒa/ et /ʒʒa/ en (ms). 352
Tableau 73 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /az/ et /azz/ en (ms). 353
Tableau 74 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aʒ/ et /aʒʒ/ en (ms). 354
Tableau 75 : données correspondant à l'étendue de contact des occlusives en position initiale, intervocalique et finale du locuteur Kh 368
Tableau 76 : données correspondant à l'étendue de contact des occlusives en position initiale, intervocalique et finale du locuteur F 368

18 Annexe 1

Les valeurs absolues

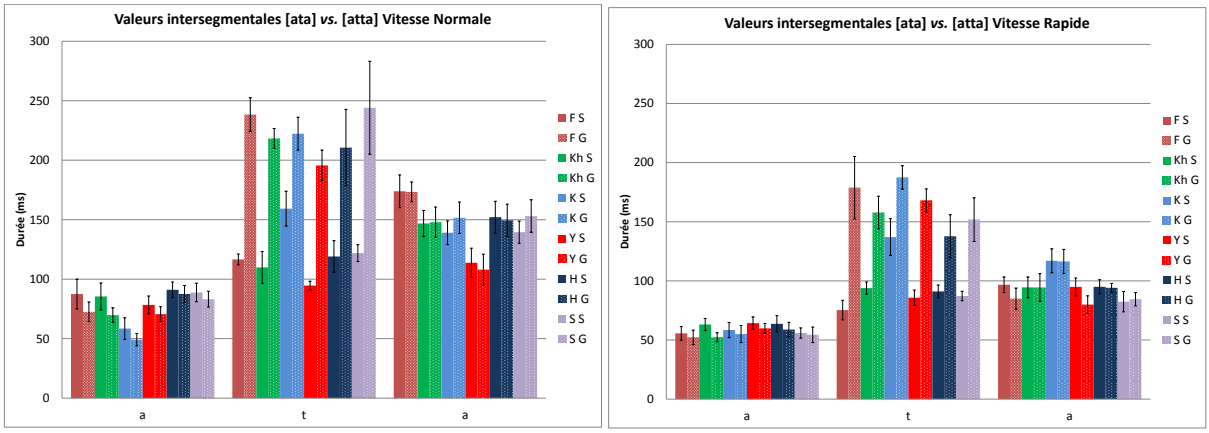


Figure 149 : Les valeurs intersegmentales /ata/ *vs.* /atta/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 35 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ata/ et /atta/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		a		t		a		a		t		a	
[ata] vs. [atta]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	87,5	55,6	116,6	75,3	173,9	96,7	72,6	52,2	238,4	178,8	173,4	85
	Ecart-type	12,6	5,8	4,6	8,3	13,7	6,7	8,3	6,2	14,2	26,4	8,4	8,9
Kh	Moyenne	85,5	63,1	109,9	93,9	146,8	94,5	69,9	52,3	218,3	157,8	147,9	94,4
	Ecart-type	11,3	5,1	13,3	5,2	11,0	8,8	6,1	3,9	8,4	13,8	12,7	11,7
K	Moyenne	58,5	58,4	159,3	137	139	117	49,2	55,1	222,3	187,5	151,6	116,4
	Ecart-type	9,1	6,4	14,7	15,5	10,0	10,2	5,2	7,2	13,8	9,9	13,2	10,2
Y	Moyenne	78,4	64,3	94,6	85,8	113,8	94,9	70,6	59,8	195,7	168,1	108	79,9
	Ecart-type	7,5	5,3	3,7	6,5	12,3	7,6	6,2	4,2	12,9	9,7	13,0	7,5
H	Moyenne	91,1	63,7	119,1	91,1	152,1	95	87,6	58,8	210,6	137,7	149,5	94,1
	Ecart-type	6,5	6,9	13,3	5,4	13,4	5,9	7,2	6,2	32,1	18,3	13,6	3,8
S	Moyenne	88,8	55,9	121,9	87,2	139,5	82,4	83,2	54,4	244,1	151,8	153,1	84,5
	Ecart-type	7,8	4,3	7,1	4,0	9,3	8,6	6,7	6,6	39,1	18,5	13,6	5,7

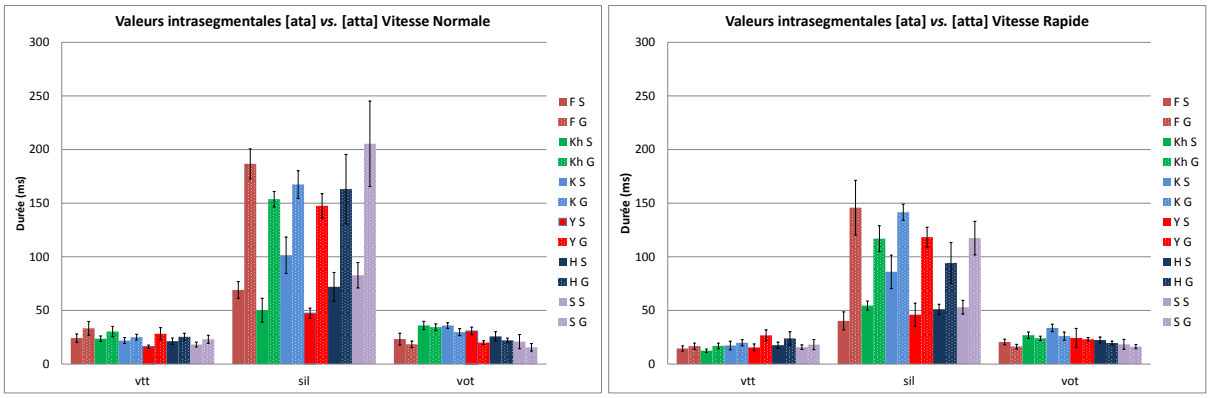


Figure 150 : Les valeurs intrasegmentales /ata/ *vs*. /atta/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 36 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ata/ *vs*. /atta/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		vtt		sil		vot		vtt		sil		vot	
[ata] vs. [atta]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	24,2	14,5	69,1	40,2	23,3	20,6	33,30	16,7	186,70	145,8	18,40	16,3
	Ecart-type	3,9	2,5	7,8	8,4	5,5	2,6	6,41	2,9	13,97	25,6	3,06	2,2
Kh	Moyenne	23,7	12,5	50,2	54,5	36	26,9	30,3	16,9	153,7	116,9	34,3	24
	Ecart-type	2,5	1,6	11,1	4,2	3,9	3,0	4,8	2,6	7,3	12,1	3,2	2,0
K	Moyenne	21,9	17,3	101,5	86	35,9	33,7	25,1	19,9	167,4	141,6	29,8	26
	Ecart-type	2,8	4,1	17,0	15,6	2,7	3,5	2,7	2,8	12,9	7,5	3,3	3,9
Y	Moyenne	16,2	15,5	47,5	46	30,9	24,3	28,2	26,7	147,5	118,3	20	23,1
	Ecart-type	1,5	3,3	4,7	10,8	3,5	8,9	5,7	5,2	11,4	9,3	1,8	1,6
H	Moyenne	21,3	17,6	72	51,1	25,8	22,4	25,4	23,9	163,1	94,2	22,1	19,6
	Ecart-type	2,9	3,0	13,4	4,7	4,4	2,9	3,3	6,3	32,4	19,1	2,1	1,9
S	Moyenne	18,2	15,8	82,8	53	20,9	18,4	23,1	18,1	205,4	117,4	15,6	16,3
	Ecart-type	2,3	2,1	11,9	6,4	6,6	4,6	3,8	4,8	39,9	15,7	3,5	1,9

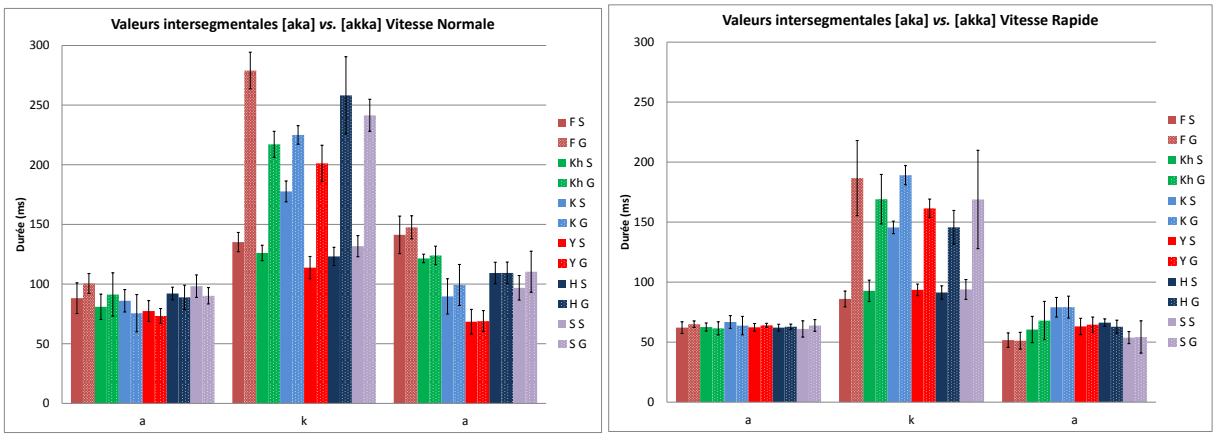


Figure 151 : Les valeurs intersegmentales /aka/ *vs*. /akka/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 37 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aka/ et /akka/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		a		k		a		a		k		a	
[aka] vs. [akka]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	88,2	62,1	135,2	86	141,3	51,7	100,5	65	279	186,7	147,6	51,2
	Ecart-type	12,9	4,9	8,1	6,6	15,7	6,1	8,3	2,7	15,4	31,3	9,7	7,0
Kh	Moyenne	81	62,6	126,1	92,8	121,5	60,5	91,3	61,6	217,2	169,1	124	68
	Ecart-type	10,6	3,4	6,5	8,9	3,6	11,0	18,2	5,5	10,9	20,6	7,8	16,0
K	Moyenne	86	66,8	177,7	145,6	89,7	79,1	75,6	63,8	225	189,1	99,3	79,2
	Ecart-type	9,4	5,3	8,8	5,2	14,8	8,2	15,6	7,7	7,8	8,0	17,2	9,1
Y	Moyenne	77,4	62,4	113,8	93,6	68,5	63,1	73,3	64	201,2	161,5	69	64,6
	Ecart-type	8,7	3,1	9,4	4,8	10,3	6,8	6,2	1,7	15,2	7,7	8,8	6,3
H	Moyenne	92,1	62,1	123,2	91,4	109,3	66,3	88,9	62,9	258,2	145,7	109,4	62,9
	Ecart-type	5,3	2,8	7,7	5,5	9,0	3,1	10,2	2,1	32,4	14,0	9,1	5,4
S	Moyenne	98,3	61	131,8	93,9	96,9	53,8	90,2	63,9	241,5	168,9	110,4	54,3
	Ecart-type	9,4	6,8	8,9	8,3	10,3	5,0	6,8	4,9	13,4	41,0	17,2	13,5

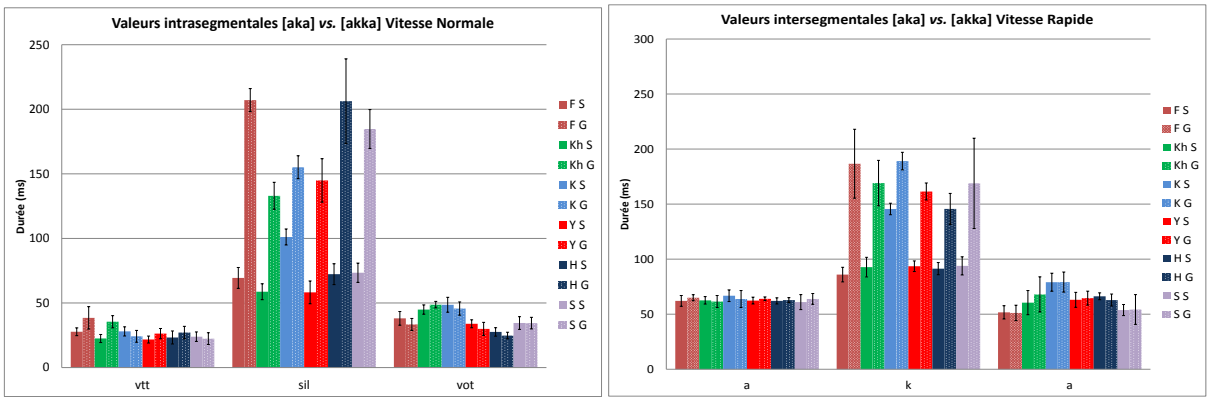


Figure 152 : Les valeurs intrasegmentales /aka/ *vs.* /akka/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 38 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aka/ *vs.* /akka/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		vtt		sil		vot		vtt		sil		vot	
[aka] vs. [akka]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	27,7	17,1	69,4	44,8	38,1	24,1	38,5	19	207,1	146,6	33,4	21,1
	Ecart-type	3,0	2,1	8,1	8,3	5,3	3,4	8,7	5,9	8,9	26,0	4,6	2,4
Kh	Moyenne	22,5	16,4	58,7	42,3	44,9	34,1	35,5	18,6	133	116,8	48,7	33,8
	Ecart-type	3,1	2,1	6,2	7,1	3,6	4,7	4,7	3,9	10,5	17,6	2,5	3,0
K	Moyenne	28	22,2	101,1	84,6	48,6	38,8	24,2	18,8	155,1	133,9	45,7	36,4
	Ecart-type	3,5	2,8	6,2	3,6	5,8	4,6	4,6	2,7	8,9	7,4	5,1	2,7
Y	Moyenne	21,7	19,8	58,2	44,2	33,9	29,6	26,3	26,9	144,9	107,6	30	27
	Ecart-type	2,7	4,2	8,8	7,5	3,1	5,6	4,0	4,4	16,8	6,9	5,0	3,2
H	Moyenne	23,3	19,2	72,3	51,2	27,6	21	27,1	23,6	206,3	101,5	24,8	20,6
	Ecart-type	5,0	1,9	8,1	5,9	3,3	2,5	4,8	3,0	32,8	12,7	2,5	2,7
S	Moyenne	23,9	15,7	73,4	47,4	34,5	30,8	22,4	20,1	184,7	120,4	34,4	28,4
	Ecart-type	3,7	2,9	7,5	7,9	4,9	3,5	4,6	3,4	15,1	41,2	4,5	3,1

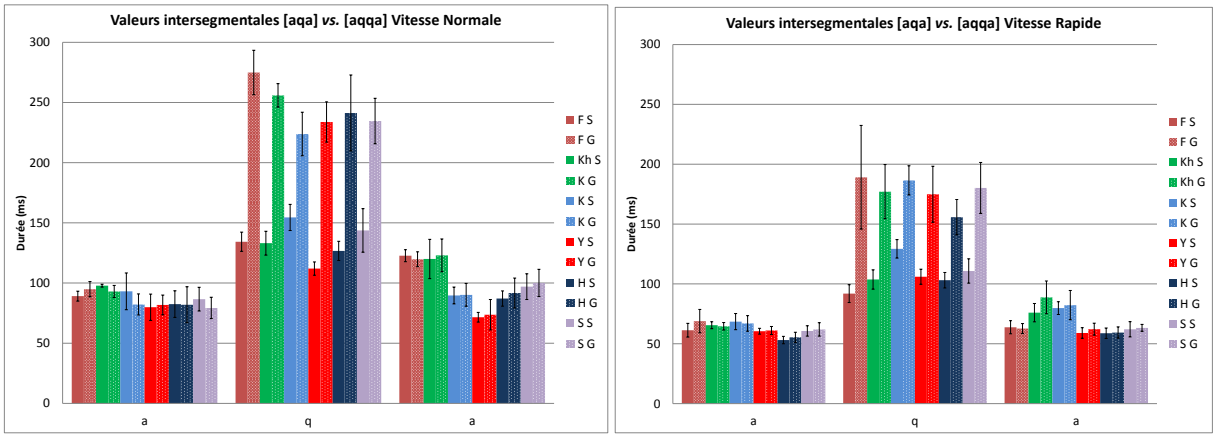


Figure 153 : Les valeurs intersegmentales /aqa/ *vs*. /aqqa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 39 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aqa/ et /aqqa/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		a		q		a		a		q		a	
[aqa] vs. [aqqa]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	89,1	61,3	134,3	91,9	122,7	63,8	94,9	68,9	274,9	189,1	119,8	62,7
	Ecart-type	4,1	5,7	8,0	7,5	5,0	5,5	6,3	9,8	18,4	43,3	6,2	4,2
Kh	Moyenne	97,8	65,5	133,1	103,7	120	76	93	64,6	255,9	177,1	123	88,8
	Ecart-type	1,2	2,9	9,9	8,1	16,3	7,6	5,0	3,1	9,8	22,6	13,6	13,7
K	Moyenne	93,1	68,5	154,5	129,3	89,7	79,8	82,2	67	223,8	186,5	90,2	82,3
	Ecart-type	15,3	6,8	10,9	7,7	7,0	5,3	8,8	6,5	18,1	12,2	9,5	12,2
Y	Moyenne	79,9	60,5	112	106	71,6	59	81,8	61,1	233,8	174,9	73,7	62,2
	Ecart-type	10,9	2,4	5,5	6,3	4,0	4,4	8,2	3,3	16,7	23,4	12,6	5,0
H	Moyenne	82,5	53,1	126,7	103,1	87,1	58,8	82	55,4	241,3	155,8	91,7	59,4
	Ecart-type	11,0	3,1	7,9	6,5	6,3	4,3	15,0	4,2	31,5	14,8	12,4	4,7
S	Moyenne	86,6	60,7	143,7	110,8	97	62,1	79,3	62	234,6	180,2	100,1	63,3
	Ecart-type	9,9	4,3	18,1	10,2	10,7	6,4	8,9	5,6	18,9	21,3	11,3	2,9

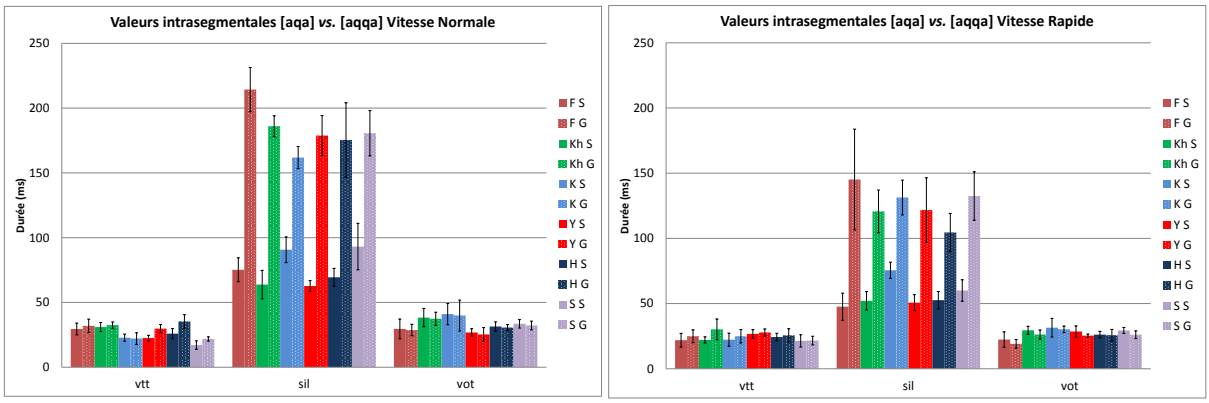


Figure 154 : Les valeurs intrasegmentales /aqa/ *vs.* /aqqa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 40 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aqa/ *vs.* /aqqa/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		vtt		sil		vot		vtt		sil		vot	
[aqa] vs. [aqqa]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	29,5	21,9	75,2	47,6	29,6	22,4	31,9	24,9	214,3	145,1	28,7	19,1
	Ecart-type	4,6	5,3	9,3	10,4	7,6	5,9	5,2	5,0	17,1	38,7	4,4	3,3
Kh	Moyenne	31	22,1	63,8	52,1	38,3	29,5	32,5	30,2	186	120,7	37,4	26,2
	Ecart-type	3,5	2,4	11,0	7,0	7,1	3,1	2,4	8,0	8,1	16,4	5,1	3,6
K	Moyenne	22,8	22,3	90,7	75,5	41	31,5	22,1	24,9	161,8	131,3	39,9	30,3
	Ecart-type	2,7	5,0	10,0	6,2	8,2	7,2	4,5	5,2	8,5	13,4	11,9	2,5
Y	Moyenne	22,5	26,7	62,7	50,7	26,8	28,6	29,7	27,8	178,8	121,7	25,3	25,4
	Ecart-type	2,1	3,3	4,2	6,1	2,9	4,3	3,2	2,8	15,5	24,8	5,3	1,3
H	Moyenne	25,9	24,3	69,4	52,6	31,4	26,2	35,3	25,6	175,4	104,5	30,6	25,7
	Ecart-type	3,9	2,9	6,9	6,6	3,6	2,5	5,3	5,1	28,7	14,6	2,3	4,5
S	Moyenne	17,1	21,4	93,1	60	33,5	29,4	21,8	21,6	180,6	132,5	32,2	26,1
	Ecart-type	3,2	4,7	18,0	8,3	3,2	2,3	1,7	3,3	17,5	18,6	3,4	3,0

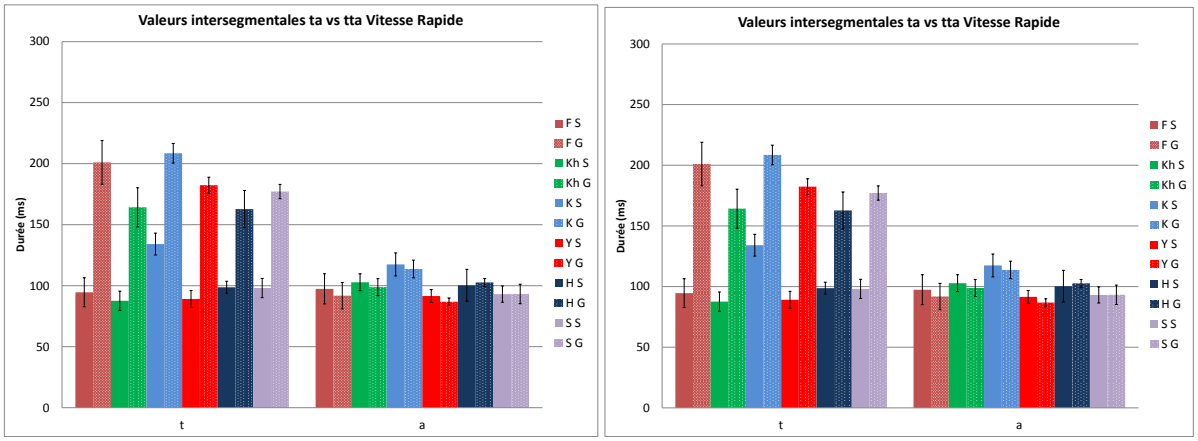


Figure 155 : Les valeurs intersegmentales /ta/ *vs*. /tta/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 41 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ta/ et /tta/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		t		a		tt		a	
[ta] vs. [tta]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	154,4	94,6	187,7	97,4	258,4	201,0	183,3	91,8
	Ecart-type	11,3	11,9	14,6	12,3	14,8	18,0	12,0	10,9
Kh	Moyenne	128,5	87,6	151,6	102,8	241,0	164,2	160,1	98,8
	Ecart-type	9,0	7,9	7,6	6,9	12,0	16,1	10,3	7,0
K	Moyenne	154,1	134,1	145,0	117,4	239,3	208,5	150,6	113,7
	Ecart-type	7,3	9,0	13,1	9,4	16,2	8,0	10,3	7,2
Y	Moyenne	111,2	89,1	117,8	91,5	217,2	182,3	115,0	86,8
	Ecart-type	7,4	7,0	6,5	5,3	15,3	6,6	5,9	3,2
H	Moyenne	151,2	98,7	210,9	100,3	219,9	162,7	208,5	102,6
	Ecart-type	8,8	4,9	11,7	13,1	16,9	15,3	10,8	3,2
S	Moyenne	143,0	98,1	157,3	93,1	261,7	177,1	150,4	93,2
	Ecart-type	11,6	7,9	7,5	6,7	19,6	5,9	7,8	8,0

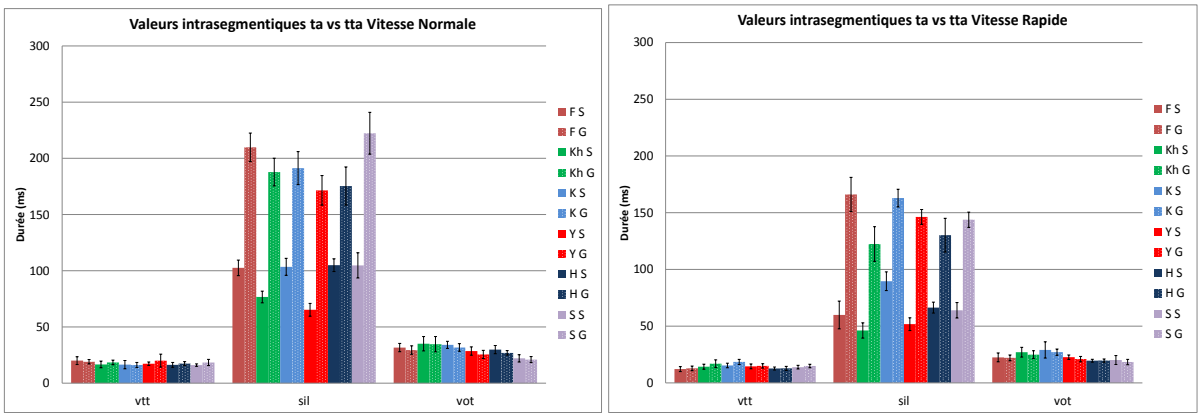


Figure 156 : Les valeurs intrasegmentales /ta/ *vs*. /tta/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 42 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ta/ *vs*. /tta/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		vtt		sil		vot		vtt		sil		vot	
[ta] vs. [tta]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	20,1	12,2	102,6	59,9	31,7	22,5	19,10	12,8	209,80	166,1	29,50	22,1
	Ecart-type	3,5	2,2	6,9	12,3	3,7	3,9	1,97	2,0	12,68	15,1	3,72	2,6
Kh	Moyenne	16,7	14,3	76,7	46,2	35,1	27,1	18,5	16,9	187,8	122,4	34,7	24,9
	Ecart-type	3,0	2,2	5,2	6,7	6,4	4,3	2,0	3,4	12,3	15,3	6,8	3,5
K	Moyenne	16,5	15,4	103,5	89,6	34,1	29,1	16,2	18,5	191,3	162,9	31,8	27,1
	Ecart-type	3,7	2,0	7,6	8,2	3,1	7,2	2,3	2,3	14,7	7,8	3,4	2,8
Y	Moyenne	17,3	14,6	65,3	51,8	28,6	22,7	20,1	15	171,5	146,3	25,6	21
	Ecart-type	1,6	2,2	5,7	5,7	3,7	1,9	5,8	1,9	13,2	6,5	3,7	2,4
H	Moyenne	16,3	12,7	105	66,4	29,9	19,6	17,5	12,8	175,4	130,2	27	19,7
	Ecart-type	2,2	1,3	5,7	4,8	3,7	1,3	1,6	1,8	17,0	14,9	2,0	1,4
S	Moyenne	16,1	13,9	104,8	64	22,1	20,2	18,4	14,9	222,3	143,8	21	18,4
	Ecart-type	1,1	1,6	11,2	6,8	3,3	4,0	2,8	1,5	18,6	6,7	2,7	2,4

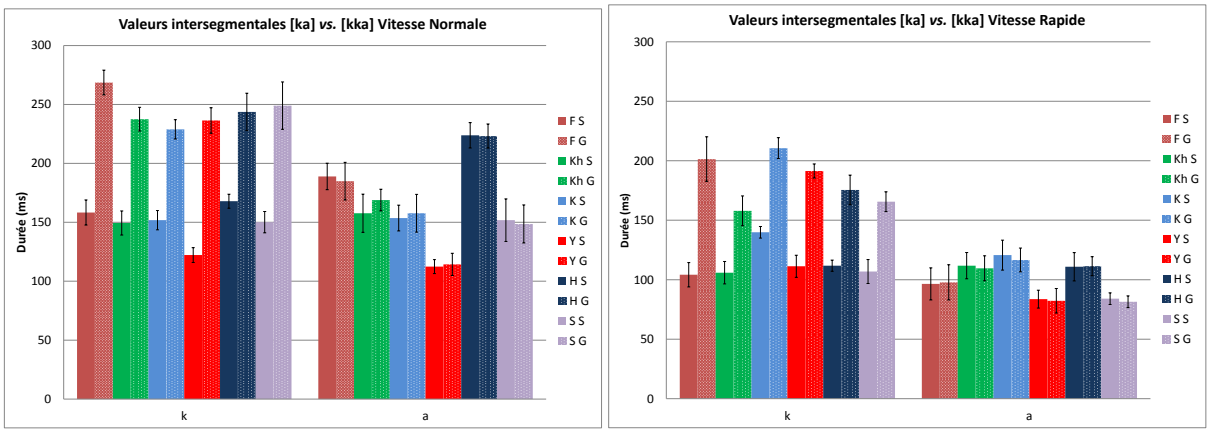


Figure 157 : Les valeurs intersegmentales /ka/ *vs.* /kka/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 43 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ka/ et /kka/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		k		a		kk		a	
[ka] vs. [kka]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	158,3	104,2	188,9	96,5	268,6	201,4	184,9	97,8
	Ecart-type	10,7	10,2	11,2	13,5	10,5	18,7	16,0	14,8
Kh	Moyenne	149,4	105,9	157,7	111,8	237,5	157,9	168,9	109,6
	Ecart-type	10,2	9,4	16,2	11,0	10,1	12,5	9,2	10,5
K	Moyenne	151,8	139,9	153,6	120,7	228,9	210,6	157,7	116,6
	Ecart-type	8,2	4,9	10,9	12,6	8,2	8,8	16,0	10,0
Y	Moyenne	122,2	111,3	112,4	83,7	236,4	191,4	114,3	82,3
	Ecart-type	6,3	9,3	5,9	7,5	10,8	5,9	9,4	10,3
H	Moyenne	167,9	111,8	223,8	110,9	243,7	175,5	223,2	111,4
	Ecart-type	6,0	4,7	10,8	11,9	15,8	12,5	10,2	8,0
S	Moyenne	150,1	106,9	151,8	84,1	249,0	165,6	148,6	81,5
	Ecart-type	9,0	10,1	18,1	4,9	20,1	8,3	16,2	4,9

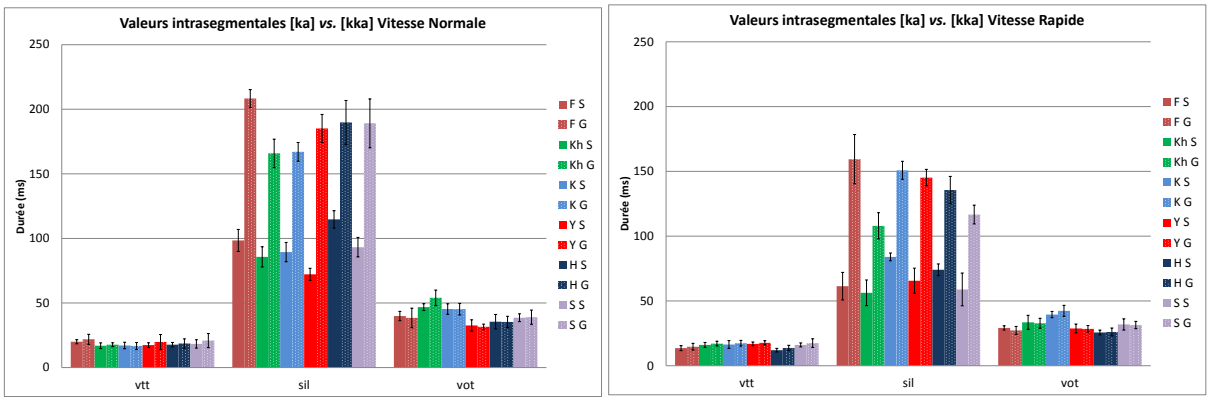


Figure 158 : Les valeurs intrasegmentales /ka/ *vs*. /kka/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 44 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ka/ *vs*. /kka/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		vtt		sil		vot		vtt		sil		vot	
[ka] vs. [kka]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	20	13,6	98,4	61,4	39,9	29,2	21,90	14,7	208,30	159,4	38,40	27,3
	Ecart-type	1,6	2,0	8,5	10,6	3,6	1,7	3,87	2,6	6,93	19,0	7,57	3,1
Kh	Moyenne	16,9	16,1	85,7	56,3	46,8	33,5	17,7	17,1	165,8	108	54	32,8
	Ecart-type	2,2	1,9	7,8	9,9	2,7	5,4	1,5	1,9	11,1	10,1	6,0	3,8
K	Moyenne	17,1	16,4	89,4	84	45,3	39,5	16,7	17,4	167	150,8	45,2	42,4
	Ecart-type	2,5	3,0	7,5	3,0	4,1	2,4	2,7	2,2	7,2	6,9	4,5	4,2
Y	Moyenne	17,4	16,9	72,2	65,6	32,6	28,8	19,8	17,7	185,1	145,2	31,5	28,5
	Ecart-type	1,8	1,4	4,7	9,7	4,4	3,4	5,8	1,6	10,9	6,3	2,2	2,5
H	Moyenne	17,7	12	114,7	74,1	35,5	25,7	18,6	13,8	189,8	135,6	35,3	26,1
	Ecart-type	1,8	1,4	6,8	4,5	5,6	1,8	3,6	2,0	17,0	10,5	4,4	3,0
S	Moyenne	18,3	16,1	93,2	58,9	38,6	31,9	20,9	17,5	189,1	116,7	39	31,4
	Ecart-type	3,2	1,5	7,6	12,6	3,0	4,3	5,5	3,3	19,0	7,3	5,5	2,8

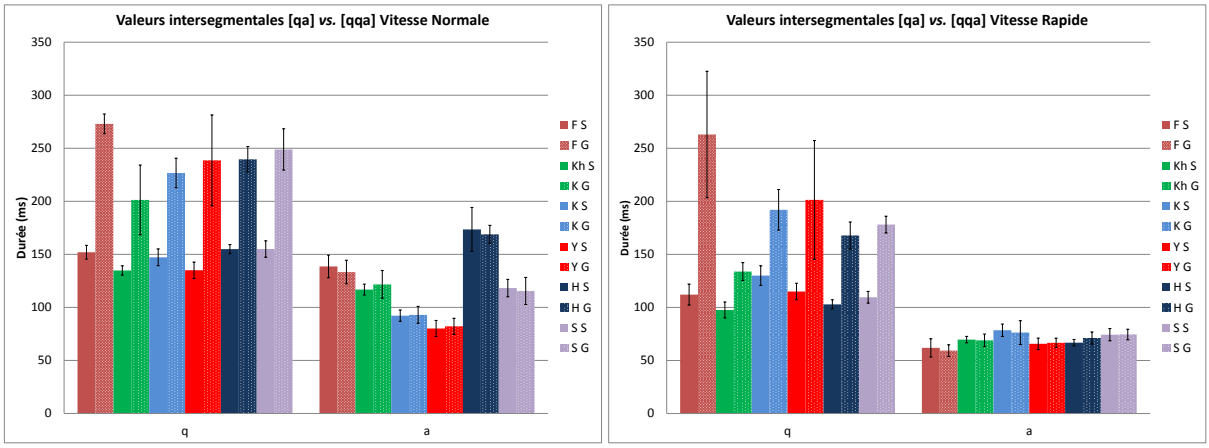


Figure 159 : Les valeurs intersegmentales /qa/ *vs.* /qqa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 45: Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /qa/ et /qqa/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		q		a		qq		a	
[qa] vs. [qqa]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	152,0	112,1	138,6	61,9	273,0	263,0	133,3	59,3
	Ecart-type	6,5	9,9	10,6	8,6	9,2	59,6	11,1	5,5
Kh	Moyenne	134,8	97,6	116,8	69,7	201,3	133,8	121,7	69,0
	Ecart-type	4,4	7,5	5,1	3,0	32,9	8,4	13,0	5,9
K	Moyenne	147,2	130,0	92,2	78,5	226,7	192,0	93,0	76,3
	Ecart-type	8,0	9,3	5,4	5,9	14,0	19,1	8,0	11,3
Y	Moyenne	135,0	115,0	80,1	65,7	238,6	201,3	82,2	66,6
	Ecart-type	7,7	7,8	7,6	5,4	42,8	56,0	7,6	4,4
H	Moyenne	154,9	102,9	173,5	66,8	239,6	167,8	168,9	71,2
	Ecart-type	4,3	4,3	20,7	3,0	12,1	12,7	8,4	5,7
S	Moyenne	155,0	109,6	118,2	74,3	248,9	178,1	115,5	74,5
	Ecart-type	7,7	5,5	8,2	5,8	19,5	7,9	12,8	5,0

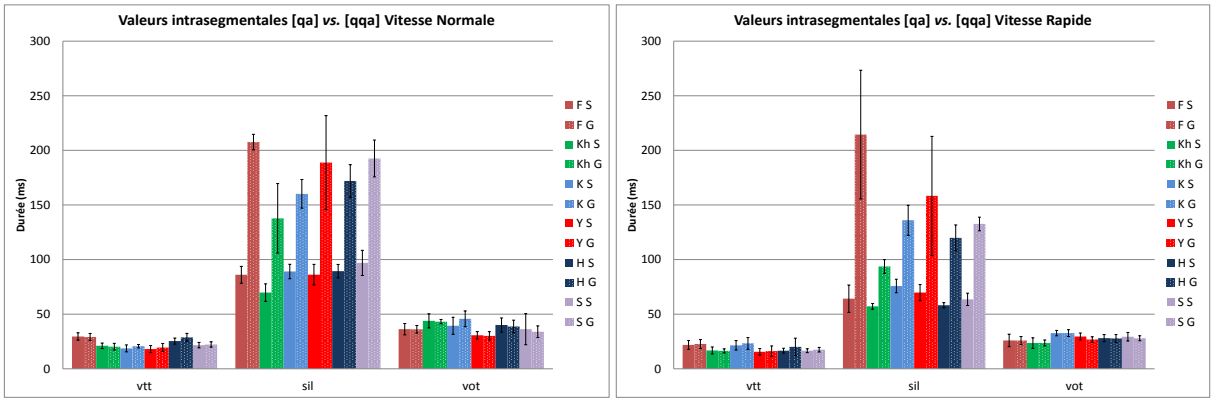


Figure 160 : Les valeurs intrasegmentales /qa/ *vs.* /qqa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 46: Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /qa/ *vs.* /qqa/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		vtt		sil		vot		vtt		sil		vot	
[qa] vs. [qqa]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	29,6	21,9	86,1	64,2	36,3	26	29,20	22,7	207,60	214,4	36,20	25,9
	Ecart-type	3,4	4,0	7,7	12,5	5,2	5,7	3,19	4,1	7,09	58,9	3,49	3,7
Kh	Moyenne	21,1	16,8	69,8	57,2	43,9	23,6	20,3	16,4	137,8	93,7	43,2	23,7
	Ecart-type	2,6	3,2	8,0	2,6	6,5	4,9	3,1	2,0	31,8	6,2	2,0	2,8
K	Moyenne	18,7	21,5	89,1	75,8	39,4	32,7	20,7	23,3	160,2	136	45,8	32,7
	Ecart-type	3,2	4,4	6,6	6,2	7,8	2,5	1,6	5,4	13,1	13,8	7,3	3,1
Y	Moyenne	18,1	15,6	86,2	69,8	30,7	29,6	19,5	16,2	188,9	158,3	30,2	26,8
	Ecart-type	3,2	3,0	9,4	7,3	3,4	3,2	3,7	4,8	42,9	54,5	3,9	2,6
H	Moyenne	25,4	16,6	89,4	58,2	40,1	28,1	28,8	20,1	172	119,9	38,8	27,8
	Ecart-type	2,8	2,2	6,1	2,3	6,5	3,2	3,7	8,0	14,9	11,8	5,8	3,6
S	Moyenne	21,7	16,6	97	63,6	36,3	29,4	22,3	17,5	192,6	132,6	34	28
	Ecart-type	2,5	1,8	11,5	5,6	14,3	3,9	2,5	2,1	16,9	6,2	5,4	2,3

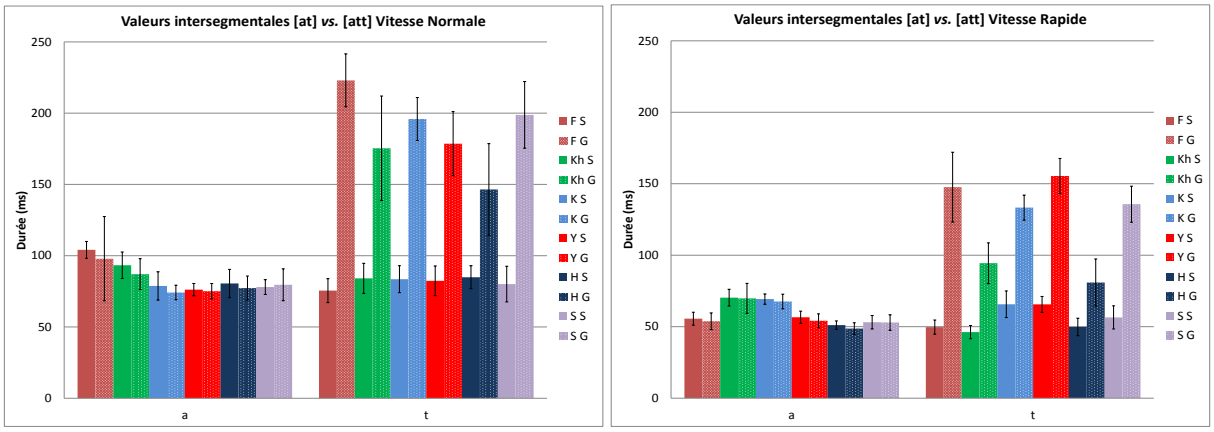


Figure 161 : Les valeurs intersegmentales /at/ *vs.* /att/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 47 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /at/ et /att/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		a		t		a		tt	
[att] vs. [att]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	104,1	55,6	75,5	49,7	97,9	53,8	223,0	147,6
	Ecart-type	5,9	4,5	8,4	5,0	29,5	5,9	18,6	24,4
Kh	Moyenne	93,3	70,3	84,1	46,2	87,1	69,8	175,4	94,4
	Ecart-type	9,3	5,9	10,6	4,6	10,8	10,5	36,6	14,3
K	Moyenne	78,8	69,3	83,5	65,7	74,2	67,6	195,9	133,3
	Ecart-type	9,9	3,6	9,5	9,3	5,1	5,1	15,1	8,8
Y	Moyenne	76,2	56,6	82,4	65,6	75,1	54,1	178,6	155,4
	Ecart-type	4,3	4,3	10,4	5,6	5,4	4,9	22,5	12,3
H	Moyenne	80,5	51,1	84,9	49,8	77,3	48,7	146,5	80,9
	Ecart-type	9,9	2,9	8,1	6,2	8,4	4,1	32,1	16,5
S	Moyenne	78,0	53,1	80,1	56,5	79,6	52,9	198,8	135,7
	Ecart-type	5,2	4,7	12,5	8,1	11,2	5,4	23,4	12,6

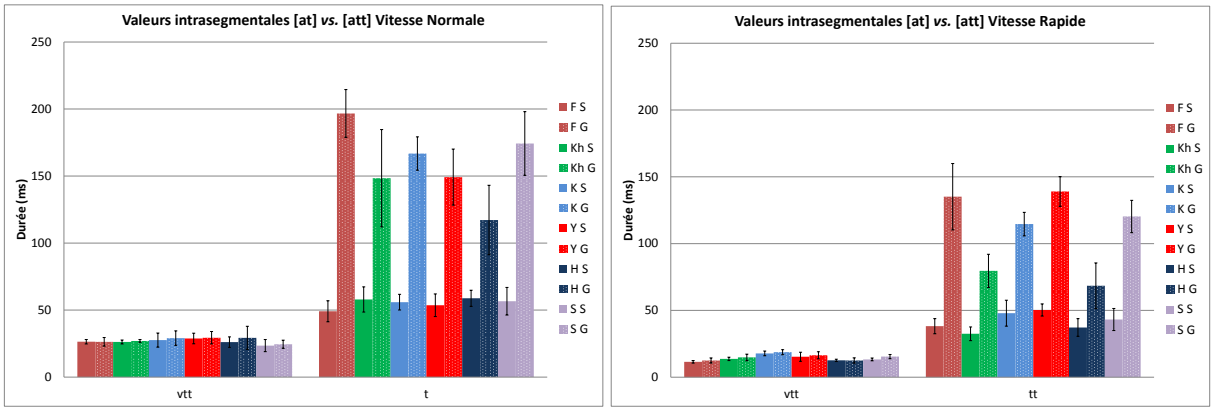


Figure 162 : Les valeurs intrasegmentales /at/ *vs*. /att/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 48 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /at/ *vs*. /att/ en (ms)

		Simple				Géminée			
		vtt		silence		vtt		silence	
[at] vs. [att]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	26,4	11,5	49,1	38,2	26,3	12,5	196,7	135,1
	Ecart-type	1,6	1,0	7,8	5,7	3,2	1,9	17,8	24,8
Kh	Moyenne	26,2	13,7	57,9	32,5	27	14,8	148,4	79,6
	Ecart-type	1,5	1,3	9,4	5,1	1,0	2,4	36,3	12,4
K	Moyenne	27,6	17,8	55,9	47,9	29,1	18,7	166,8	114,6
	Ecart-type	5,3	1,8	5,8	9,7	5,4	1,9	12,4	8,8
Y	Moyenne	28,8	15,3	53,6	50,3	29,4	16,4	149,2	139
	Ecart-type	4,0	3,4	8,4	4,5	4,6	2,6	20,9	11,1
H	Moyenne	26,1	12,6	58,8	37,2	29,3	12,5	117,2	68,4
	Ecart-type	3,9	0,8	6,0	6,6	8,6	2,0	25,9	17,1
S	Moyenne	23,5	13,3	56,6	43,2	24,5	15,4	174,3	120,3
	Ecart-type	4,5	1,1	10,3	8,3	3,0	1,6	23,8	12,1

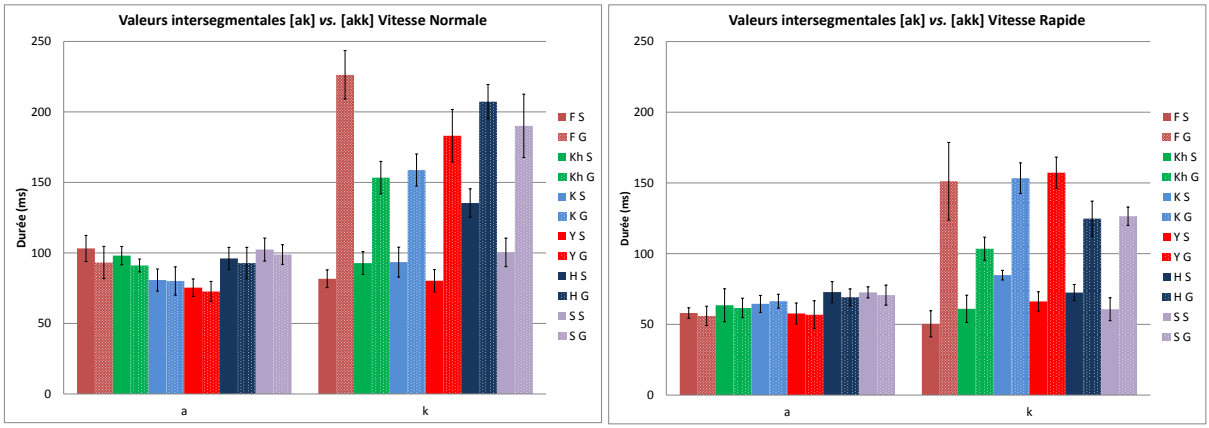


Figure 163 : Les valeurs intersegmentales /ak/ *vs.* /akk/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 49 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ak/ et /akk/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		a		k		a		kk	
[ak] vs. [akk]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	103,2	58,0	81,7	50,4	93,2	56,0	226,3	151,2
	Ecart-type	9,3	3,7	6,3	9,3	11,5	6,8	17,2	27,5
Kh	Moyenne	98,1	63,5	92,8	61,0	91,1	61,6	153,4	103,5
	Ecart-type	6,5	11,7	8,1	9,6	4,6	6,9	11,5	8,2
K	Moyenne	80,8	64,5	93,5	84,8	80,1	66,4	158,8	153,4
	Ecart-type	7,8	5,9	10,6	3,4	10,0	4,9	11,4	10,8
Y	Moyenne	75,4	57,7	80,3	66,2	72,7	56,8	183,1	157,3
	Ecart-type	6,1	7,4	7,9	6,8	7,1	9,9	18,6	11,0
H	Moyenne	96,1	72,8	135,4	72,5	92,8	69,2	207,3	124,8
	Ecart-type	7,9	7,4	10,1	5,7	11,2	5,9	12,2	12,4
S	Moyenne	102,4	72,6	100,4	60,7	98,9	70,7	190,1	126,5
	Ecart-type	8,2	3,9	10,1	8,1	7,0	7,1	22,5	6,5

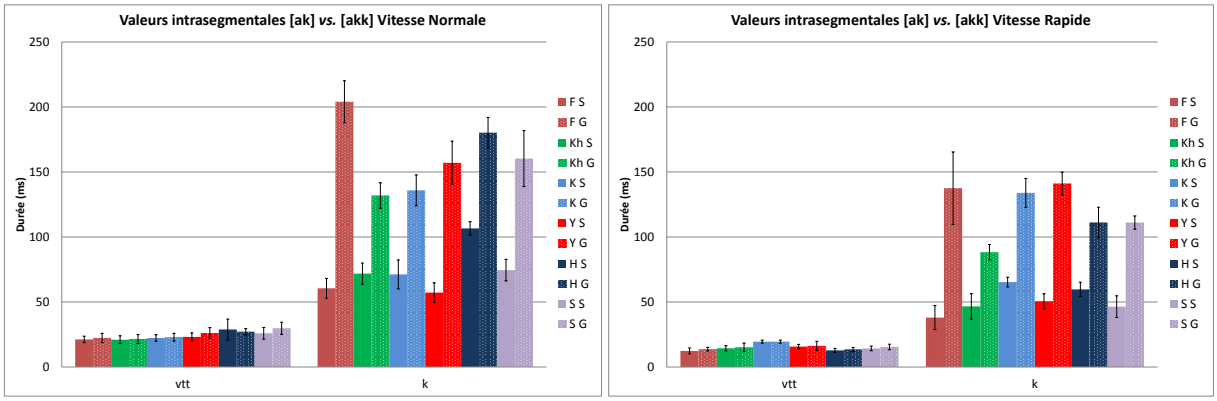


Figure 164 : Les valeurs intrasegmentales /ak/ *vs.* /akk/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 50 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ak/ *vs.* /akk/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		vtt		silence		vtt		silence	
[ak] vs. [akk]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	21,2	12,4	60,5	38	22,3	13,7	204	137,5
	Ecart-type	2,5	2,2	7,6	9,3	3,6	1,4	16,2	27,9
Kh	Moyenne	21	14,4	71,8	46,6	21,5	15,2	131,9	88,3
	Ecart-type	3,0	2,0	8,2	9,8	3,5	3,2	9,8	5,9
K	Moyenne	22,3	19,5	71,2	65,3	22,9	19,5	135,9	133,9
	Ecart-type	2,5	1,2	11,2	3,7	3,0	1,2	11,9	11,1
Y	Moyenne	23,1	15,7	57,2	50,5	26,1	16,2	157	141,1
	Ecart-type	3,1	1,7	7,6	5,8	4,2	3,6	16,7	8,8
H	Moyenne	28,8	12,8	106,6	59,7	27,1	13,6	180,2	111,2
	Ecart-type	8,1	1,5	5,2	5,5	2,4	1,5	11,8	11,7
S	Moyenne	25,9	14,3	74,5	46,4	29,8	15,4	160,3	111,1
	Ecart-type	4,5	1,8	8,3	8,3	4,7	2,2	21,5	5,1

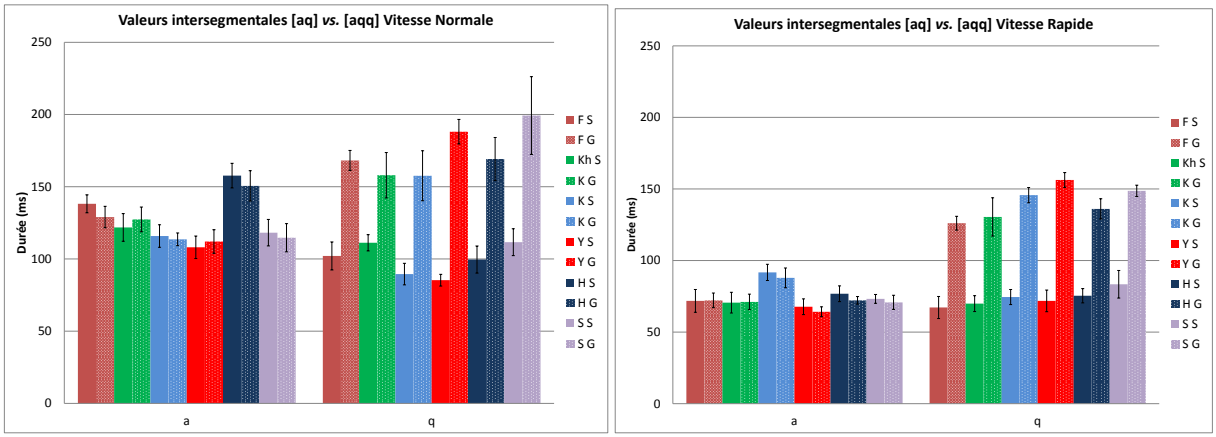


Figure 165 : Les valeurs intersegmentales /aq/ *vs.* /aqq/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 51 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aq/ et /aqq/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		a		q		a		qq	
[aq] vs. [aqq]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	138,2	71,8	102,1	67,2	129,0	72,2	168,2	126,1
	Ecart-type	6,2	8,0	9,7	7,7	7,4	5,1	6,9	4,8
Kh	Moyenne	121,8	70,6	111,2	69,9	127,4	71,1	158,0	130,5
	Ecart-type	9,6	7,2	5,6	5,6	8,5	5,4	15,7	13,4
K	Moyenne	115,9	91,7	89,5	74,5	113,6	87,9	157,6	145,7
	Ecart-type	7,8	5,7	7,5	5,3	4,4	6,9	17,3	5,3
Y	Moyenne	108,1	67,7	85,3	71,8	112,1	64,2	188,1	156,3
	Ecart-type	7,8	5,5	4,1	7,6	8,2	3,5	8,5	5,2
H	Moyenne	157,7	76,8	99,6	75,4	150,6	72,2	169,2	136,1
	Ecart-type	8,5	5,5	9,4	5,0	10,5	2,7	14,9	7,1
S	Moyenne	118,2	73,2	111,6	83,4	114,7	70,8	199,3	148,7
	Ecart-type	9,2	3,1	9,3	9,6	9,8	4,9	26,9	3,9

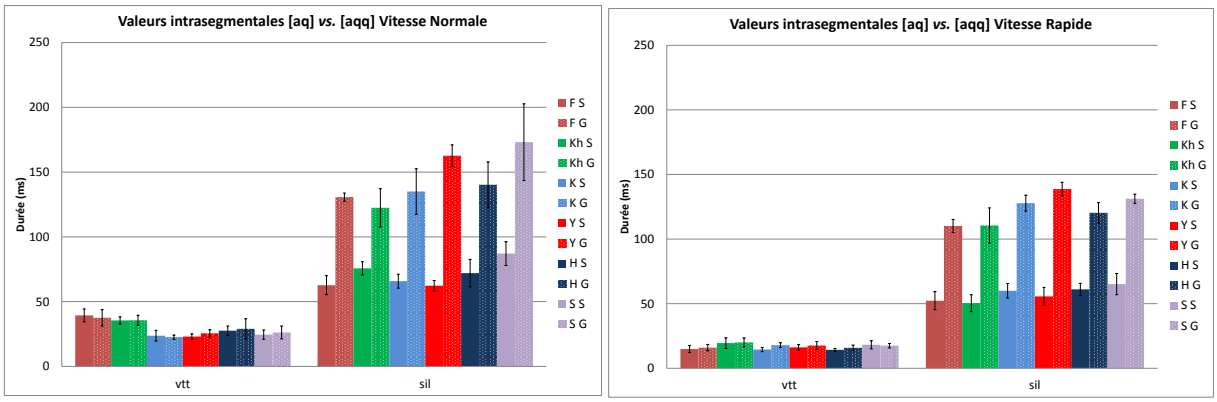


Figure 166 : Les valeurs intrasegmentales /aq/ *vs.* /aqq/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 52 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aq/ *vs.* /aqq/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		vtt		silence		vtt		silence	
[aq] vs. [aqq]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	39,4	14,9	62,7	52,3	37,5	16	130,7	110,1
	Ecart-type	5,0	2,7	7,3	7,0	6,3	2,4	3,1	5,1
Kh	Moyenne	35,5	19,5	75,7	50,4	35,6	20	122,4	110,5
	Ecart-type	2,8	4,1	5,1	6,5	3,9	3,5	14,8	13,7
K	Moyenne	23,7	14,5	65,8	60	22,6	17,9	135	127,8
	Ecart-type	4,2	1,6	5,4	5,6	1,6	1,9	17,6	6,2
Y	Moyenne	23	16,2	62,3	55,6	25,5	17,6	162,6	138,7
	Ecart-type	2,2	2,1	4,0	7,0	2,8	3,2	8,4	5,3
H	Moyenne	27,6	14,3	72	61,1	29	15,8	140,2	120,3
	Ecart-type	3,6	1,1	10,6	4,7	7,9	2,2	17,7	7,9
S	Moyenne	24,5	18,2	87,1	65,2	26,2	17,5	173,1	131,2
	Ecart-type	3,6	3,2	9,2	8,2	5,0	1,7	29,6	3,6

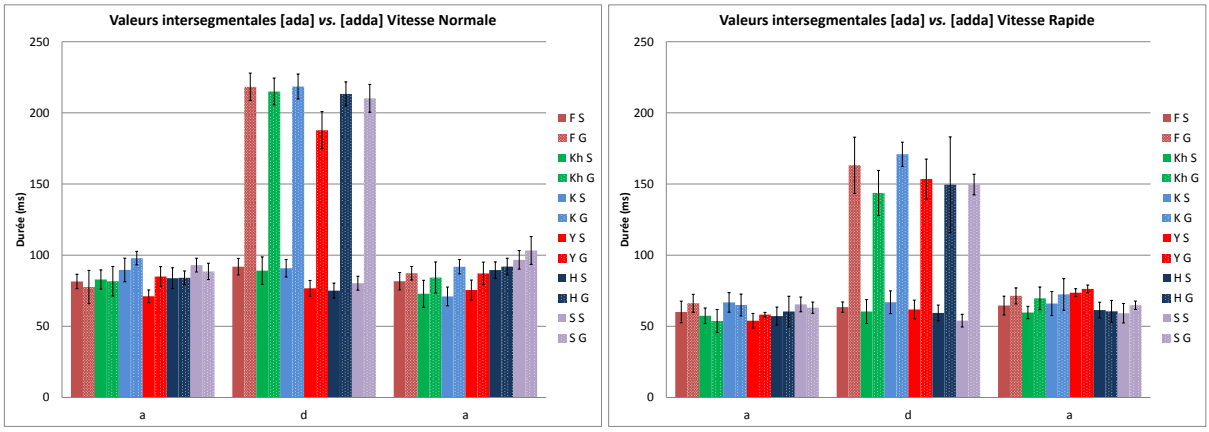


Figure 167 : Les valeurs intersegmentales /ada/ *vs.* /adda/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 53 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ada/ et /adda/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		a		d		a		a		d		a	
[ada] vs. [adda]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	81,5	60,1	91,90	63,5	81,7	64,6	77,6	66,2	218,3	163,1	87,3	71,4
	Ecart-type	5,1	7,6	5,8	3,7	6,1	6,6	11,7	6,3	9,6	19,8	4,8	5,7
Kh	Moyenne	82,9	57,4	89,10	60,4	72,9	59,7	81,7	53,7	215	143,7	84,3	69,6
	Ecart-type	6,8	5,5	9,7	8,4	9,4	4,3	10,4	8,1	9,4	15,8	10,9	8,0
K	Moyenne	89,6	66,8	90,80	66,9	71	66	97,9	65	218,5	170,9	91,9	72,4
	Ecart-type	8,3	6,9	6,2	8,0	6,6	8,4	4,8	7,7	8,8	8,5	5,1	11,1
Y	Moyenne	71,1	53,9	76,70	61,8	75,5	73,6	85	58,2	187,8	153,5	87,2	76,3
	Ecart-type	4,5	5,2	5,6	6,6	7,0	2,8	6,9	1,6	13,0	14,0	7,9	2,8
H	Moyenne	83,8	57,2	75,10	59,4	89,5	61,4	84,1	60,4	213,3	149,5	92	60,5
	Ecart-type	7,3	6,4	5,3	5,5	5,8	5,5	4,8	10,8	8,5	33,6	5,9	7,7
S	Moyenne	93	65,4	80,30	54	96,7	59,2	88,6	63,1	210,2	149,6	103,3	64,8
	Ecart-type	4,9	5,2	4,9	4,5	6,5	6,9	5,7	4,0	9,8	7,3	9,7	2,9

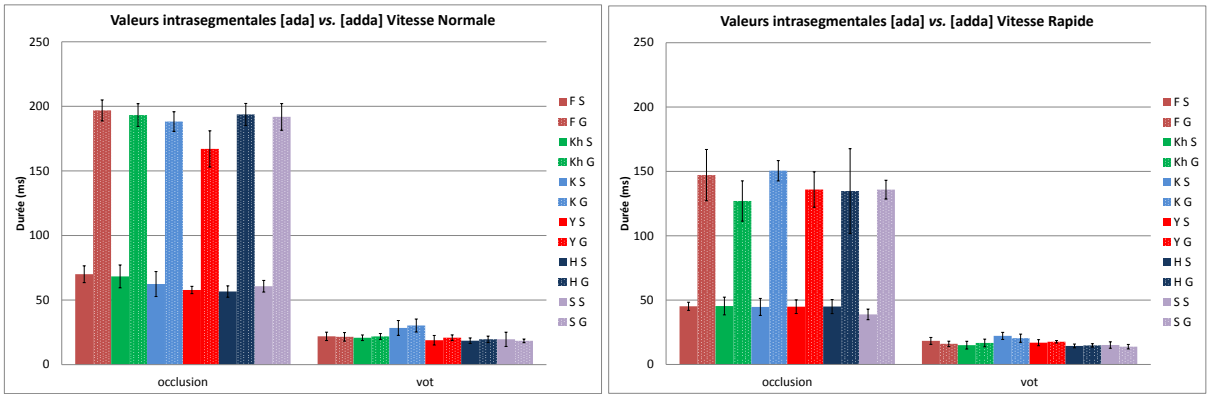


Figure 168 : Les valeurs intrasegmentales /ada/ *vs*. /adda/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 54 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ada/ *vs*. /adda/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		occlusion		vot		occlusion		vot	
[ada] vs. [adda]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	70	45,2	21,9	18,3	196,8	147,1	21,5	16
	Ecart-type	6,5	3,2	3,2	2,7	8,1	19,9	3,3	2,1
Kh	Moyenne	68,3	45,4	20,8	15	193,2	127	21,8	16,7
	Ecart-type	8,9	6,9	2,1	3,0	8,8	15,6	2,3	3,0
K	Moyenne	62,4	44,7	28,4	22,2	188,2	150,5	30,3	20,4
	Ecart-type	9,7	6,6	5,8	2,7	7,6	7,9	5,0	3,2
Y	Moyenne	57,8	44,9	18,9	16,9	167	135,9	20,8	17,6
	Ecart-type	2,9	5,3	3,7	2,3	14,1	13,8	2,2	1,0
H	Moyenne	56,6	45	18,5	14,4	193,7	134,7	19,6	14,8
	Ecart-type	4,4	5,5	2,2	1,4	8,5	32,9	2,5	1,3
S	Moyenne	60,7	38,9	19,6	15,1	191,8	135,8	18,4	13,8
	Ecart-type	4,5	4,1	5,5	2,5	10,3	7,3	1,4	1,8

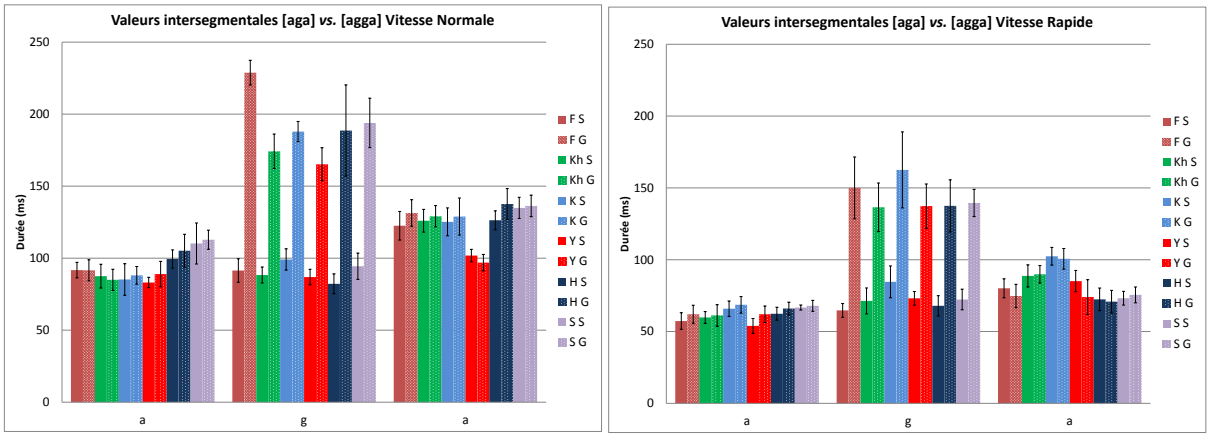


Figure 169 : Les valeurs intersegmentales /aga/ *vs*. /agga/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 55 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aga/ et /agga/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		a		g		a		a		g		a	
[aga] vs. [agga]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	91,7	57,3	91,4	64,7	122,5	80,1	91,6	62	228,8	150	131,4	74,7
	Ecart-type	5,4	5,8	8,2	4,8	9,9	6,6	7,3	6,3	8,6	21,6	9,2	8,2
Kh	Moyenne	87,5	59,8	88,3	71,3	126	88,7	85	61,2	174,2	136,5	129,1	89,8
	Ecart-type	8,3	4,1	5,6	9,0	7,9	7,7	7,3	7,5	12,0	16,9	7,4	6,1
K	Moyenne	85,2	65,9	99,1	84,6	125,2	102,4	88,1	68,6	187,9	162,5	128,9	100,6
	Ecart-type	11,0	5,4	7,4	11,1	9,7	6,2	6,1	5,8	7,0	26,5	12,8	7,2
Y	Moyenne	83,1	53,9	86,9	73,1	101,8	85,1	89	62	165,2	137,3	96,9	74
	Ecart-type	3,6	5,2	5,4	4,7	4,3	7,4	8,8	5,8	11,5	15,4	5,7	12,1
H	Moyenne	99,4	62,4	82,2	67,9	126,3	72,4	105,2	66	188,6	137,5	137,6	70,8
	Ecart-type	6,3	4,5	6,9	7,1	6,6	7,9	11,4	4,4	31,7	18,1	10,7	7,9
S	Moyenne	110,2	66,7	94,4	72,3	134,9	73,2	112,8	67,9	193,9	139,5	136,3	75,5
	Ecart-type	14,2	1,8	9,2	7,2	7,4	4,8	6,6	3,8	17,2	9,5	7,5	5,5

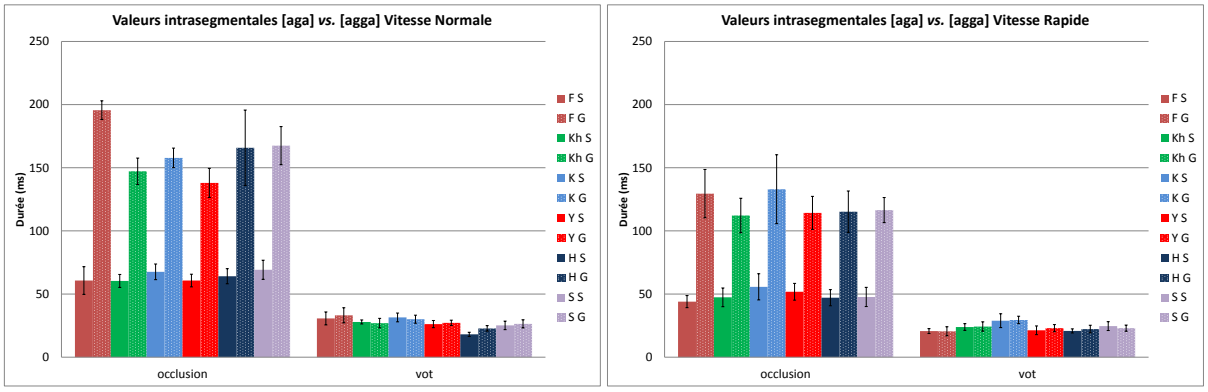


Figure 170 : Les valeurs intrasegmentales /aga/ *vs.* /agga/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 56 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aga/ *vs.* /agga/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		occlusion		vot		occlusion		vot	
[aga] vs. [agga]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	60,7	44	30,7	20,7	195,6	129,5	33,2	20,5
	Ecart-type	11,0	4,8	5,1	1,9	7,4	19,1	6,0	3,6
Kh	Moyenne	60,4	47,4	27,9	23,9	147,2	112,2	27	24,3
	Ecart-type	5,1	7,4	1,6	2,6	10,5	13,7	3,8	3,7
K	Moyenne	67,6	55,7	31,5	28,9	157,8	133	30,1	29,5
	Ecart-type	6,2	10,4	3,5	5,5	7,7	27,3	3,1	3,0
Y	Moyenne	60,7	51,8	26,2	21,3	138	114,3	27,2	23
	Ecart-type	5,0	6,6	2,9	3,4	11,5	13,1	2,1	2,8
H	Moyenne	64,1	47,1	18,1	20,8	165,8	115,2	22,8	22,3
	Ecart-type	6,0	6,4	1,7	1,6	29,8	16,4	2,2	3,0
S	Moyenne	69,2	47,7	25,2	24,6	167,5	116,5	26,4	23
	Ecart-type	7,6	7,6	3,4	3,5	15,1	9,9	3,2	2,4

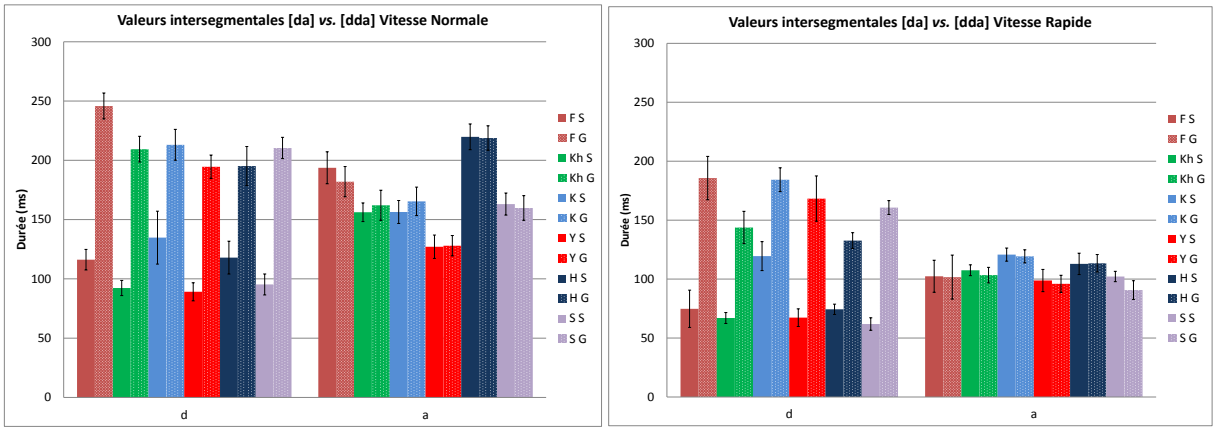


Figure 171 : Les valeurs intersegmentales /da/ *vs.* /dda/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 57 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /da/ et /dda/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		d		a		dd		a	
[da] vs. [dda]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	116,2	74,8	193,7	102,4	245,8	185,7	182,0	101,7
	Ecart-type	8,7	15,8	13,5	13,6	11,0	18,4	12,7	18,7
Kh	Moyenne	92,3	67,0	156,2	107,5	209,4	143,8	162,1	103,4
	Ecart-type	6,4	4,6	7,9	4,6	10,8	13,7	12,7	6,6
K	Moyenne	134,8	119,5	156,4	120,8	213,1	184,3	165,4	119,3
	Ecart-type	22,3	12,3	9,7	5,6	13,0	10,1	12,0	5,6
Y	Moyenne	89,1	67,3	127,1	98,8	194,6	168,3	128,0	96,0
	Ecart-type	7,7	7,5	9,9	9,4	9,9	19,2	8,6	7,2
H	Moyenne	117,9	74,4	219,8	112,9	195,2	132,7	218,8	113,4
	Ecart-type	13,9	4,4	10,9	9,1	16,4	6,7	10,3	7,4
S	Moyenne	95,3	61,9	163,1	102,2	210,4	160,7	159,8	90,7
	Ecart-type	8,8	5,3	9,3	4,4	9,0	5,9	10,4	7,9

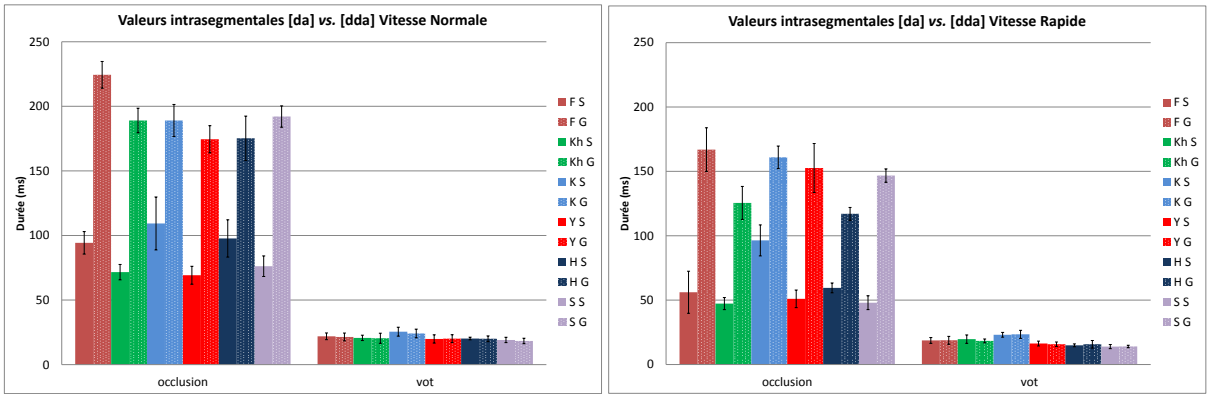


Figure 172 : Les valeurs intrasegmentales /ta/ *vs*. /tta/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 58 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ta/ *vs*. /tta/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		occlusion		vot		occlusion		vot	
[da] vs. [dda]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	94,3	56,1	21,9	18,7	224,4	166,9	21,4	18,8
	Ecart-type	8,7	16,3	2,6	2,3	10,3	16,9	3,0	3,1
Kh	Moyenne	71,6	47,3	20,7	19,7	189	125,5	20,4	18,3
	Ecart-type	6,0	4,7	2,1	3,2	9,5	12,8	3,9	1,5
K	Moyenne	109,3	96,4	25,5	23,1	189	160,9	24,1	23,4
	Ecart-type	20,5	12,1	3,5	1,9	12,4	8,8	3,4	3,2
Y	Moyenne	69,2	51	19,9	16,3	174,5	152,6	20,1	15,7
	Ecart-type	6,9	6,8	3,2	1,9	10,5	19,0	3,1	1,8
H	Moyenne	97,7	59,5	20,2	14,9	175,2	117	20	15,7
	Ecart-type	14,5	3,8	1,0	1,1	17,2	5,0	2,2	2,9
S	Moyenne	76,2	48	19,1	13,9	192,1	146,7	18,3	14
	Ecart-type	8,0	5,4	2,1	1,6	8,2	5,2	2,1	0,9

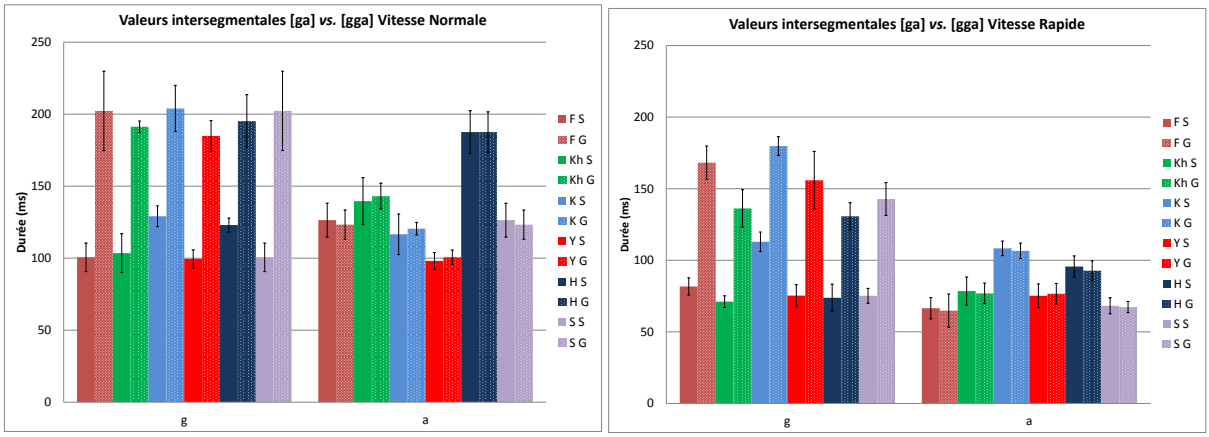


Figure 173 : Les valeurs intersegmentales /ga/ *vs.* /gga/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 59 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ga/ et /gga/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		g		a		gg		a	
[ga] vs. [gga]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	100,6	81,7	126,4	66,5	202,3	168,2	123,3	64,8
	Ecart-type	9,9	6,1	11,8	7,4	27,5	11,6	10,2	11,6
Kh	Moyenne	103,5	71,1	139,6	78,5	191,3	136,2	143,1	76,9
	Ecart-type	13,5	4,1	16,4	9,8	4,0	13,1	9,0	7,2
K	Moyenne	129,1	112,9	116,6	108,3	204,0	179,8	120,5	106,6
	Ecart-type	7,2	6,8	14,1	5,1	16,0	6,5	4,3	5,4
Y	Moyenne	99,5	75,3	98,1	75,2	184,9	155,9	100,6	76,6
	Ecart-type	6,3	7,6	5,8	8,3	10,7	20,2	5,1	7,2
H	Moyenne	123,0	73,8	187,6	95,6	195,2	130,7	187,6	92,7
	Ecart-type	4,9	9,5	14,8	7,5	18,4	9,5	14,0	6,9
S	Moyenne	100,6	75,2	126,4	68,2	202,3	142,8	123,3	67,3
	Ecart-type	9,9	5,2	11,8	5,6	27,5	11,4	10,2	3,9

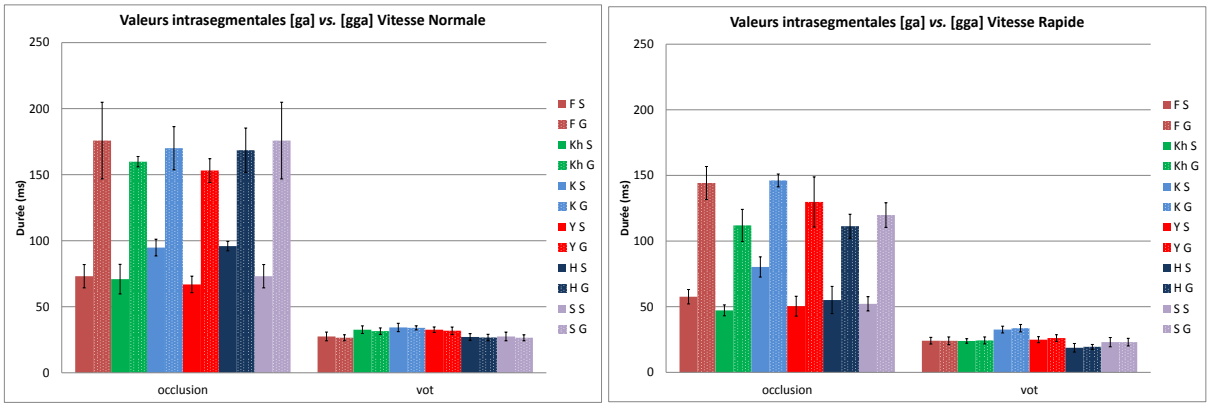


Figure 174 : Les valeurs intrasegmentales /ga/ *vs.* /gga/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 60 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intrasegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ga/ *vs.* /gga/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		occlusion		vot		occlusion		vot	
[ga] vs. [gga]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	73,1	57,6	27,5	24,1	175,8	144,2	26,5	24
	Ecart-type	8,8	5,5	3,3	2,6	29,0	12,6	2,3	2,9
Kh	Moyenne	70,9	47,2	32,6	23,9	159,8	111,9	31,5	24,3
	Ecart-type	11,2	4,2	2,9	1,7	4,0	12,3	2,5	2,7
K	Moyenne	94,8	80,3	34,3	32,6	170	146,2	34	33,6
	Ecart-type	6,4	7,7	3,2	2,6	16,4	4,9	1,6	2,8
Y	Moyenne	66,9	50,4	32,6	24,9	153,1	129,8	31,8	26,1
	Ecart-type	6,2	7,6	2,1	2,3	9,0	19,1	2,9	2,5
H	Moyenne	95,9	55,1	27,1	18,7	168,5	111,3	26,7	19,4
	Ecart-type	3,6	10,4	2,5	3,3	16,8	9,2	2,5	1,8
S	Moyenne	73,1	52,2	27,5	23	175,8	119,8	26,5	23
	Ecart-type	8,8	5,4	3,3	3,5	29,0	9,4	2,3	2,9

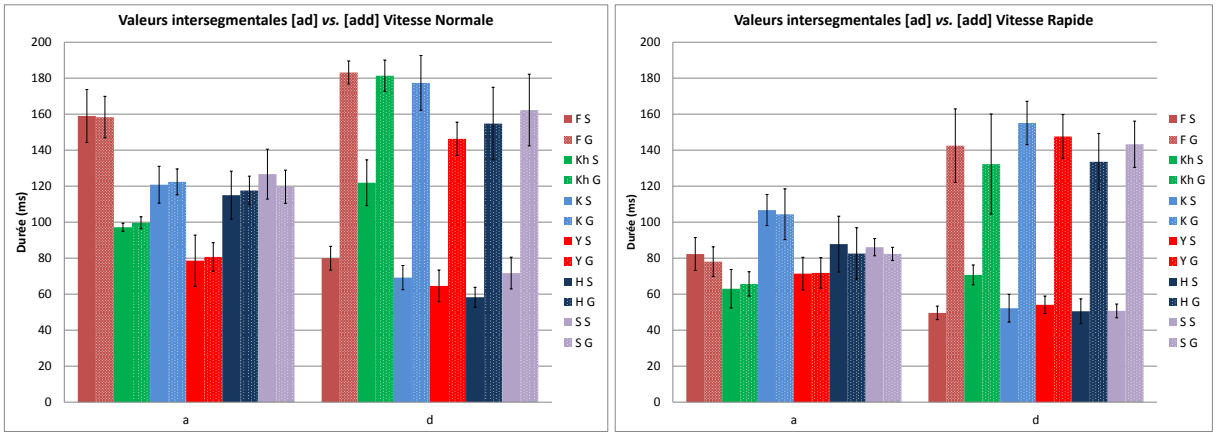


Figure 175 : Les valeurs intersegmentales /ad/ *vs.* /add/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 61 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ad/ et /add/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		a		d		a		dd	
[ad] vs. [add]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	159,0	82,3	80,0	49,6	158,4	78,1	183,2	142,5
	Ecart-type	14,7	9,2	6,6	3,7	11,5	8,2	6,4	20,4
Kh	Moyenne	97,2	63,0	121,9	70,7	99,7	65,7	181,4	132,3
	Ecart-type	2,3	10,7	12,7	5,6	3,3	6,8	8,7	27,8
K	Moyenne	120,8	106,7	69,2	52,2	122,4	104,4	177,4	155,1
	Ecart-type	10,3	8,6	6,7	7,7	7,2	14,1	15,2	12,1
Y	Moyenne	78,6	71,4	64,6	54,1	80,7	71,8	146,3	147,6
	Ecart-type	14,2	9,1	8,8	4,9	7,9	8,5	9,3	12,2
H	Moyenne	115,0	87,8	58,3	50,5	117,6	82,6	154,8	133,6
	Ecart-type	13,4	15,5	5,5	6,9	8,0	14,3	20,1	15,7
S	Moyenne	126,7	86,1	71,7	50,7	119,7	82,4	162,3	143,3
	Ecart-type	13,9	4,8	8,8	3,8	9,2	3,6	19,9	12,9

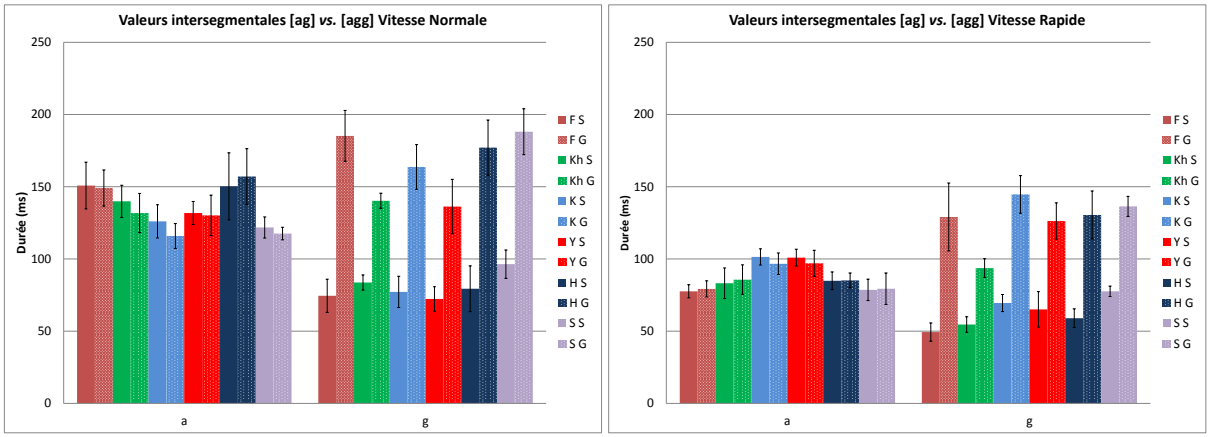


Figure 176 : Les valeurs intersegmentales /ag/ *vs.* /agg/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 62 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ag/ et /agg/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		a		g		a		gg	
[ag] vs. [agg]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	150,8	77,6	74,5	49,4	149,1	79,3	185,2	129,1
	Ecart-type	16,2	4,6	11,5	6,3	12,5	5,6	17,6	23,5
Kh	Moyenne	139,9	83,2	83,7	54,6	131,8	85,7	140,3	93,7
	Ecart-type	11,1	10,6	5,3	5,4	13,6	10,2	5,3	6,5
K	Moyenne	126,0	101,4	77,2	69,5	115,9	96,7	163,7	144,7
	Ecart-type	11,5	5,6	10,8	5,9	8,6	7,4	15,5	13,0
Y	Moyenne	131,8	100,9	72,3	65,1	130,2	97,0	136,3	126,3
	Ecart-type	8,0	5,8	8,5	12,3	14,0	9,0	18,8	12,5
H	Moyenne	150,3	84,9	79,4	59,0	157,1	85,2	177,1	130,5
	Ecart-type	23,2	6,2	15,8	6,5	19,3	5,1	19,1	16,6
S	Moyenne	121,8	78,6	96,4	77,6	117,6	79,4	188,1	136,4
	Ecart-type	7,3	7,4	9,9	3,6	4,4	10,9	15,9	6,9

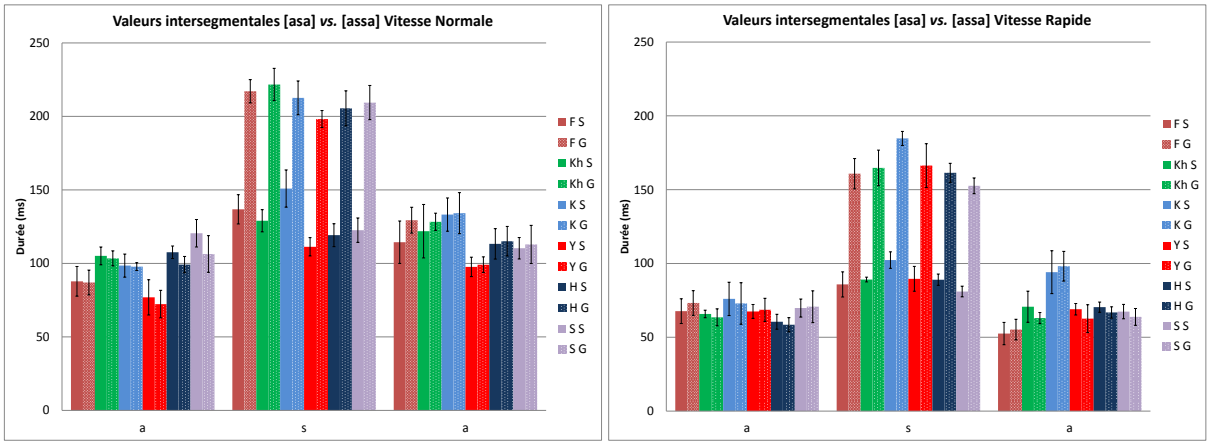


Figure 177 : Les valeurs intersegmentales /asa/ *vs.* /assa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 63 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /asa/ et /assa/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		a		s		a		a		s		a	
[asa] vs. [assa]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	87,8	67,7	136,8	85,8	114,4	52,5	87	73,2	217,1	160,8	129,4	55,2
	Ecart-type	10,1	8,4	10,0	8,5	14,4	7,6	8,5	8,4	7,9	10,3	8,8	7,0
Kh	Moyenne	105,1	65,8	129	89,1	121,9	70,7	103,4	63,5	221,7	164,7	128,3	63
	Ecart-type	6,1	2,6	7,5	1,6	18,2	10,6	5,1	5,8	11,0	12,0	5,9	3,8
K	Moyenne	98,5	76	150,9	102,3	133,2	94,1	97,8	72,9	212,6	184,7	134,2	98,1
	Ecart-type	7,9	11,3	12,7	5,6	11,3	14,5	2,7	14,1	11,5	4,8	14,0	10,1
Y	Moyenne	76,9	67,5	111,3	89,6	97,6	69	72,3	68,6	198,2	166,3	99,1	62,6
	Ecart-type	12,0	4,7	6,2	8,4	6,6	3,9	9,4	7,8	5,8	14,8	5,3	9,5
H	Moyenne	107,6	60,5	119,2	89	113,3	70,4	99,2	58,5	205,5	161,4	115,1	66,8
	Ecart-type	4,2	5,1	7,8	3,8	10,4	3,5	5,6	4,8	11,9	6,4	10,1	3,9
S	Moyenne	120,5	69,8	122,6	81	110,3	67,4	106,4	70,7	209,4	152,6	112,9	63,8
	Ecart-type	9,3	6,1	8,3	3,6	7,3	4,9	12,5	10,8	11,7	5,4	13,0	5,7

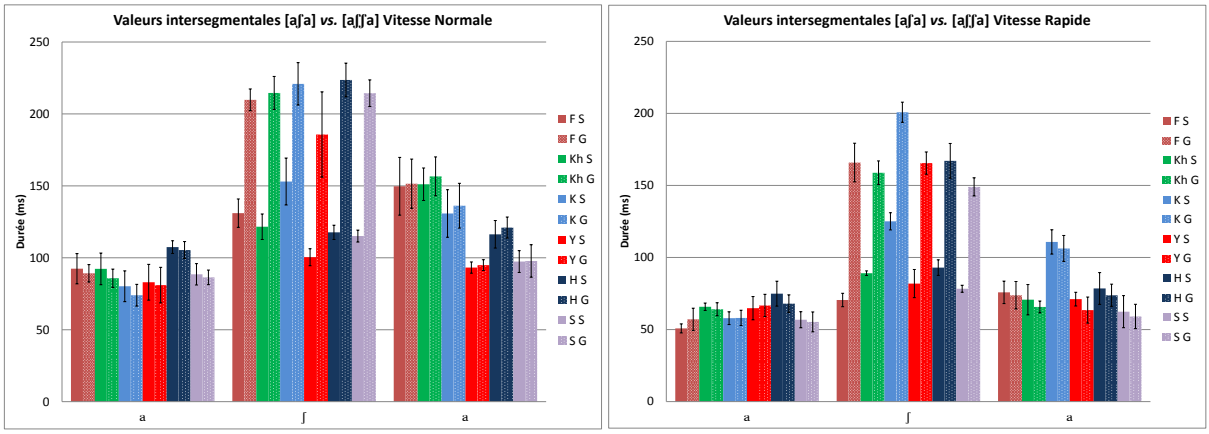


Figure 178 : Les valeurs intersegmentales /aʃa/ *vs.* /aʃʃa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 64 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aʃa/ et /aʃʃa/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		a		ʃ		a		a		ʃ		a	
[aʃa] vs. [aʃʃa]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	92,4	50,8	131	70,5	149,7	75,8	89,2	57,1	209,8	165,9	151,5	73,8
	Ecart-type	10,5	3,2	9,9	4,6	20,1	7,8	6,1	7,7	7,5	13,4	17,1	9,5
Kh	Moyenne	92,3	65,8	121,6	89,1	151,1	70,7	85,8	64,1	214,6	158,8	156,6	65,7
	Ecart-type	11,0	2,6	8,9	1,6	11,3	10,6	6,4	4,5	11,5	8,2	13,5	4,1
K	Moyenne	80,2	57,9	153	125,1	130,8	110,8	74	58,1	220,9	200,8	136,2	106,3
	Ecart-type	10,7	4,5	16,3	6,0	16,5	8,4	7,6	5,3	14,8	7,0	15,6	9,0
Y	Moyenne	83	64,8	100,4	81,9	93,2	71,1	81	66,7	185,7	165,5	94,9	63,5
	Ecart-type	12,4	8,1	5,9	9,8	3,9	4,7	12,4	7,7	29,6	7,7	3,8	9,0
H	Moyenne	107,4	74,9	117,7	93	116,3	78,5	105,4	68	223,6	167,1	121	73,8
	Ecart-type	4,4	8,7	5,0	5,4	9,6	11,0	5,9	6,1	11,7	12,1	7,3	7,7
S	Moyenne	88,5	56,8	115,1	78,3	97,4	62,4	86,4	55,3	214,4	149	97,8	59,1
	Ecart-type	7,4	5,6	4,1	2,5	7,6	11,1	5,1	6,9	9,3	6,3	11,3	8,5

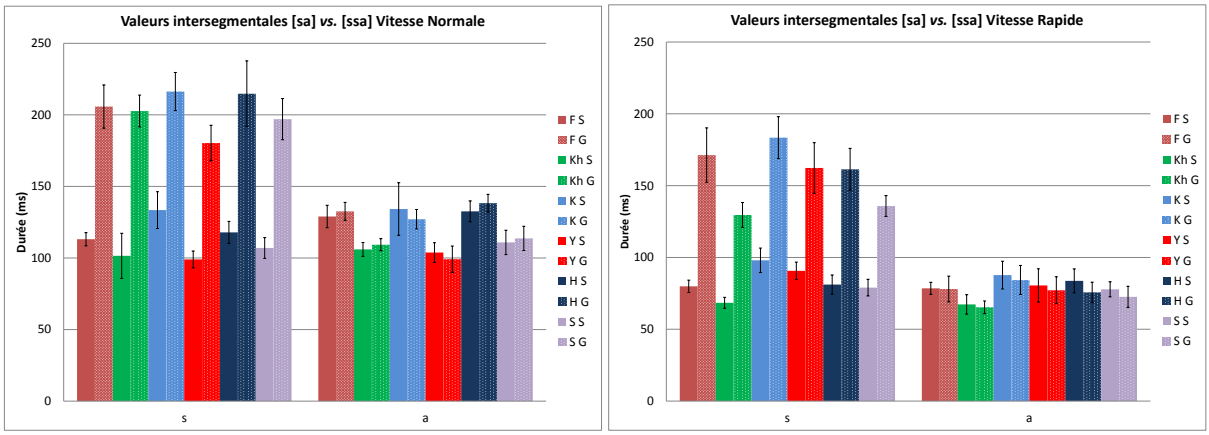


Figure 179 : Les valeurs intersegmentales /sa/ *vs.* /ssa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 65 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /sa/ et /ssa/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		s		a		ss		a	
[sa] vs. [ssa]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	113,1	79,9	129,0	78,5	205,8	171,3	132,6	78,0
	Ecart-type	4,6	4,3	7,8	4,2	15,1	18,9	6,3	9,0
Kh	Moyenne	101,5	68,4	106,0	67,3	202,7	129,6	109,3	65,3
	Ecart-type	15,8	3,8	4,9	6,8	11,1	8,6	4,2	4,4
K	Moyenne	133,5	98,0	134,2	87,7	216,3	183,4	127,1	84,3
	Ecart-type	12,8	8,5	18,4	9,7	13,3	14,6	6,8	10,1
Y	Moyenne	99,0	90,7	103,8	80,5	180,3	162,3	99,2	77,2
	Ecart-type	5,9	6,1	6,8	11,6	12,4	17,7	9,2	9,3
H	Moyenne	117,9	81,1	132,6	83,7	214,8	161,4	138,3	75,7
	Ecart-type	7,7	6,7	7,3	8,4	22,9	14,5	6,2	7,1
S	Moyenne	107,0	79,0	110,9	77,8	197,0	135,8	113,7	72,6
	Ecart-type	7,3	5,8	8,5	5,3	14,4	7,3	8,5	7,4

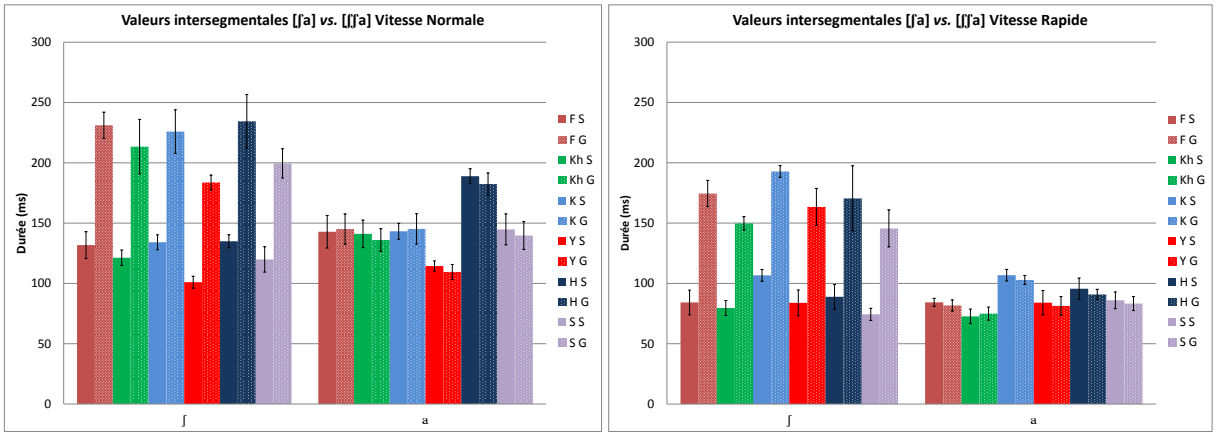


Figure 180 : Les valeurs intersegmentales /ʃa/ *vs.* /ʃʃa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 66 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ʃa/ et /ʃʃa/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		ʃ		a		ʃʃ		a	
[ʃa] vs. [ʃʃa]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	131,8	84,2	142,8	84,3	231,1	174,5	145,1	81,7
	Ecart-type	11,1	10,3	13,5	3,3	10,9	10,9	12,6	4,7
Kh	Moyenne	121,3	79,6	141,1	72,7	213,4	149,8	136,0	75,0
	Ecart-type	6,4	6,2	11,4	6,1	22,6	5,6	9,4	5,4
K	Moyenne	134,1	106,7	143,2	106,8	225,9	192,8	145,2	102,9
	Ecart-type	6,2	4,9	6,7	4,8	18,1	4,9	12,6	3,7
Y	Moyenne	101,0	83,9	114,4	84,0	183,7	163,4	109,5	81,4
	Ecart-type	5,0	10,7	4,2	10,1	6,2	15,3	6,2	7,7
H	Moyenne	134,9	88,9	188,9	95,6	234,4	170,5	182,4	90,9
	Ecart-type	5,4	10,3	6,2	8,9	22,2	27,0	9,2	4,2
S	Moyenne	119,9	74,4	144,8	86,0	199,5	145,6	139,7	83,3
	Ecart-type	10,6	5,0	12,9	7,0	12,1	15,4	11,6	5,8

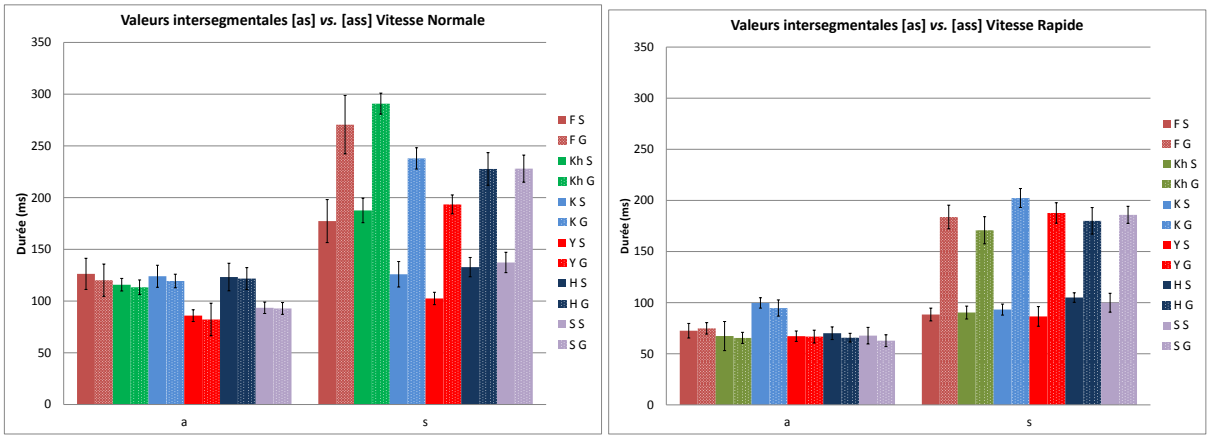


Figure 181 : Les valeurs intersegmentales /as/ *vs.* /ass/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 67 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /as/ et /ass/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		a		s		a		ss	
[as] vs. [ass]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	126,3	72,5	177,3	88,4	120,2	74,8	270,5	183,8
	Ecart-type	15,1	7,1	20,8	6,3	15,6	5,6	28,2	11,6
Kh	Moyenne	115,8	67,3	187,6	90,3	113,4	65,5	290,8	170,8
	Ecart-type	6,1	14,2	11,9	6,3	7,0	5,4	10,2	13,2
K	Moyenne	124,0	99,7	125,9	93,2	119,4	94,7	237,9	202,3
	Ecart-type	10,6	5,1	12,3	5,3	6,5	7,9	10,3	9,3
Y	Moyenne	85,9	67,2	102,5	86,5	82,2	66,8	193,4	187,7
	Ecart-type	5,7	5,1	6,0	9,6	15,7	6,3	9,1	10,0
H	Moyenne	123,2	70,1	132,8	105,0	121,8	65,7	227,7	180,0
	Ecart-type	13,3	6,2	9,4	4,7	10,6	4,3	15,8	13,0
S	Moyenne	93,5	67,7	137,3	99,9	92,9	62,8	228,0	185,9
	Ecart-type	5,5	8,1	9,8	9,3	5,7	5,8	13,1	8,4

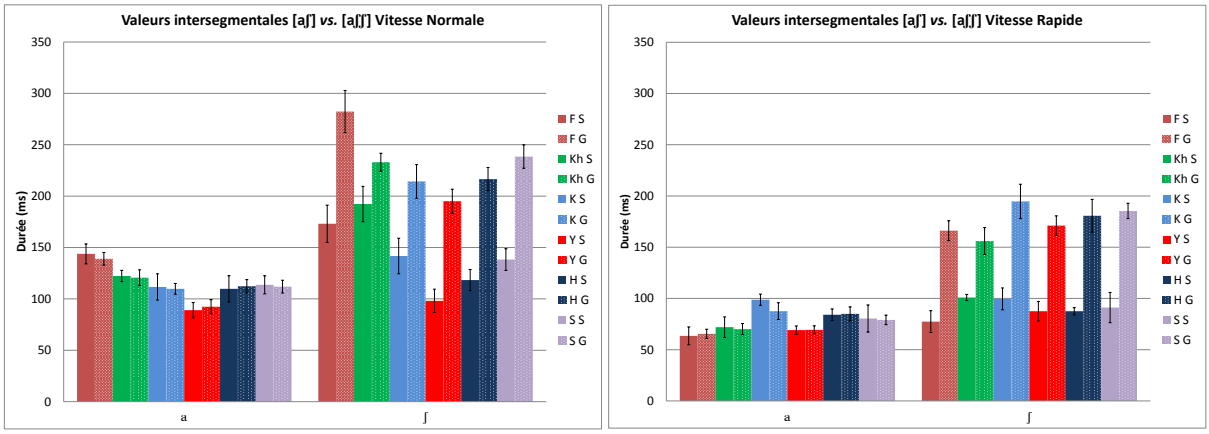


Figure 182 : Les valeurs intersegmentales /aʃ/ *vs.* /aʃʃ/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 68 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aʃ/ et /aʃʃ/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		a		ʃ		a		ʃʃ	
[aʃ] vs. [aʃʃ]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	143,8	63,5	173,1	77,4	139,0	65,5	282,3	166,2
	Ecart-type	9,7	8,7	18,2	10,6	6,2	4,4	20,5	9,7
Kh	Moyenne	122,3	72,0	192,3	100,9	120,7	70,1	233,0	156,0
	Ecart-type	5,5	10,0	17,2	3,0	7,6	5,4	8,8	13,1
K	Moyenne	111,6	98,8	141,7	99,6	109,8	87,6	214,3	194,7
	Ecart-type	12,8	5,5	17,3	10,6	5,2	8,2	16,4	16,8
Y	Moyenne	89,0	69,1	98,1	87,5	92,4	69,4	195,1	171,1
	Ecart-type	7,4	4,0	11,4	9,5	6,9	3,9	11,7	9,5
H	Moyenne	109,8	84,1	118,3	87,5	112,3	85,0	216,6	180,7
	Ecart-type	12,8	5,7	10,3	3,6	6,5	6,9	11,2	16,0
S	Moyenne	113,7	80,4	138,3	91,1	111,9	79,1	238,5	185,4
	Ecart-type	8,8	13,3	10,6	14,8	6,2	4,7	11,5	7,4

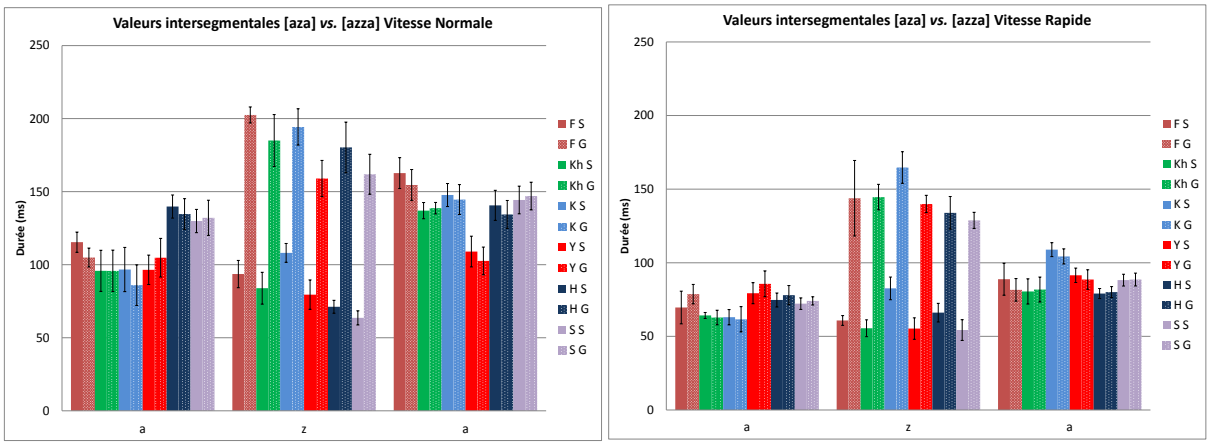


Figure 183 : Les valeurs intersegmentales /aza/ *vs.* /azza/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 69 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aza/ et /azza/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		a		z		a		a		z		a	
[aza] vs. [azza]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	115,4	69,6	93,6	60,8	162,7	88,8	104,9	78,7	202,5	143,8	154,6	81,6
	Ecart-type	6,9	11,1	9,3	3,3	10,6	10,9	6,5	6,6	5,5	25,7	10,5	7,7
Kh	Moyenne	95,8	64,2	83,9	55,5	137	80,5	95,8	62,8	185	144,6	138,7	81,8
	Ecart-type	14,1	2,0	10,9	5,7	5,6	8,6	14,2	5,0	17,8	8,6	3,9	8,5
K	Moyenne	96,7	63	108,1	82,6	147,7	108,9	86	61,6	194,3	164,7	144,6	104,3
	Ecart-type	15,1	5,2	6,4	7,7	7,9	4,7	13,9	8,6	12,5	10,7	10,2	5,1
Y	Moyenne	96,5	79,3	79,5	55,3	109	91,5	104,8	85,7	159	139,9	102,6	88,6
	Ecart-type	10,0	7,1	10,1	7,3	10,5	4,9	13,2	8,8	12,4	5,9	9,5	6,6
H	Moyenne	139,8	74,7	71,2	66,1	140,6	79,1	134,7	78	180,3	133,9	134,4	80,1
	Ecart-type	7,9	4,8	4,4	6,3	10,3	3,4	10,5	6,5	17,3	11,1	9,5	3,7
S	Moyenne	129,9	72,2	63,6	54,3	144,3	88,2	132,1	74,1	161,9	128,8	147	88,6
	Ecart-type	8,0	3,9	4,9	7,0	9,5	4,0	12,0	2,8	13,7	5,5	9,5	4,4

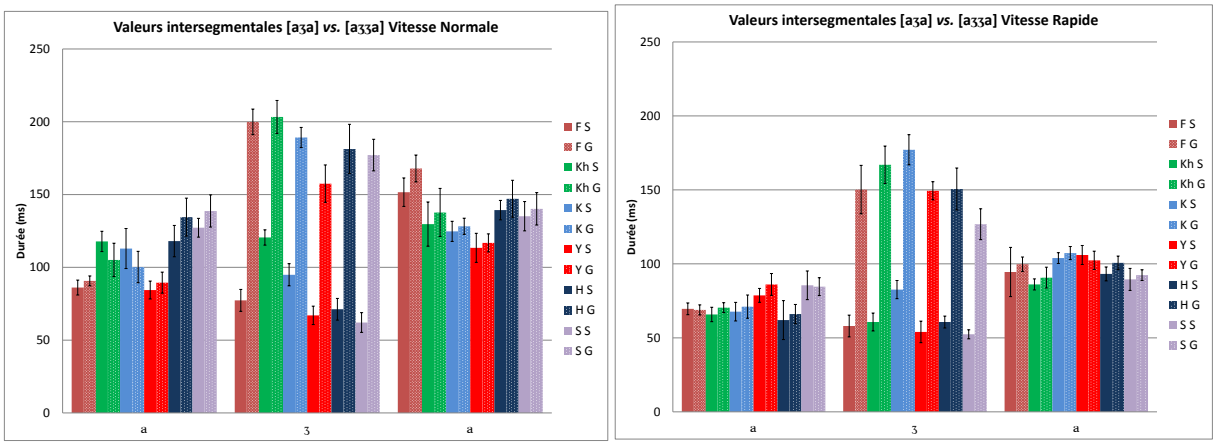


Figure 184 : Les valeurs intersegmentales /aʒa/ *vs.* /aʒʒa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 70 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /aʒa/ et /aʒʒa/ en (ms).

		Simple						Géminée					
		a		ʒ		a		a		ʒ		a	
[aʒa] vs. [aʒʒa]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	86,1	69,6	77,3	58	151,6	94,5	90,7	68,9	199,9	150,2	167,9	99,8
	Ecart-type	5,1	4,0	7,5	7,4	9,8	16,6	3,4	3,4	8,8	16,4	9,2	4,8
Kh	Moyenne	117,8	65,8	120,5	60,7	129,7	86,1	105,1	70,4	203,3	167	137,7	90,7
	Ecart-type	7,0	4,9	5,3	6,1	15,2	3,7	11,5	3,4	11,3	12,6	16,5	7,0
K	Moyenne	112,9	67,7	94,9	82,6	124,7	103,9	100,2	71,1	189,2	177,1	128,2	107,3
	Ecart-type	13,7	6,3	7,6	6,1	6,9	3,6	10,8	7,8	6,9	10,2	5,5	4,4
Y	Moyenne	84,4	78,7	67	54	113,4	106	89,5	86,1	157,5	149,4	116,8	102,4
	Ecart-type	6,2	4,7	6,3	7,3	10,0	6,4	7,2	7,4	12,8	6,1	6,2	6,2
H	Moyenne	118	62	71,2	60,7	139,3	93,2	134,5	66,1	181,3	150,6	147,1	100,7
	Ecart-type	10,8	13,2	7,5	4,0	6,7	4,7	13,0	6,5	16,9	14,2	12,7	4,6
S	Moyenne	127,2	85,5	62,1	52,4	135,1	89,5	138,7	84,6	177,1	126,8	140,2	92,4
	Ecart-type	6,4	9,7	6,8	3,1	10,1	7,4	11,1	6,0	10,9	10,4	11,1	3,6

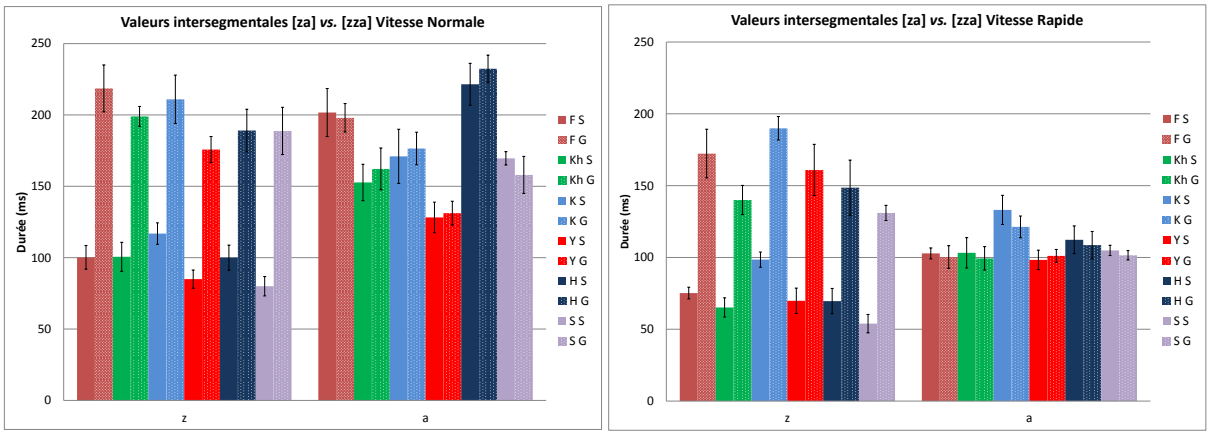


Figure 185 : Les valeurs intersegmentales /za/ *vs.* /zza/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 71 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /za/ et /zza/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		z		a		zz		a	
[za] vs. [zza]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	100,2	75,2	201,7	102,8	218,6	172,3	198,0	100,3
	Ecart-type	8,3	4,1	16,8	3,9	16,5	16,9	10,0	7,9
Kh	Moyenne	100,6	65,2	152,7	103,2	199,0	140,0	162,2	99,4
	Ecart-type	10,2	6,7	12,8	10,6	6,9	10,2	14,6	8,1
K	Moyenne	116,9	98,5	171,0	133,1	211,0	189,9	176,5	121,3
	Ecart-type	7,5	5,3	19,0	10,1	16,9	8,2	11,4	7,5
Y	Moyenne	85,0	69,8	128,2	98,3	175,8	160,9	131,2	101,1
	Ecart-type	6,4	8,8	10,7	6,8	9,1	17,8	8,3	4,5
H	Moyenne	100,0	69,6	221,5	112,3	189,1	148,6	232,4	108,6
	Ecart-type	8,8	8,8	14,7	9,6	14,9	19,2	9,5	9,5
S	Moyenne	80,0	53,9	169,6	104,9	188,8	131,0	158,0	101,5
	Ecart-type	6,8	6,4	4,7	3,6	16,6	5,3	13,0	3,3

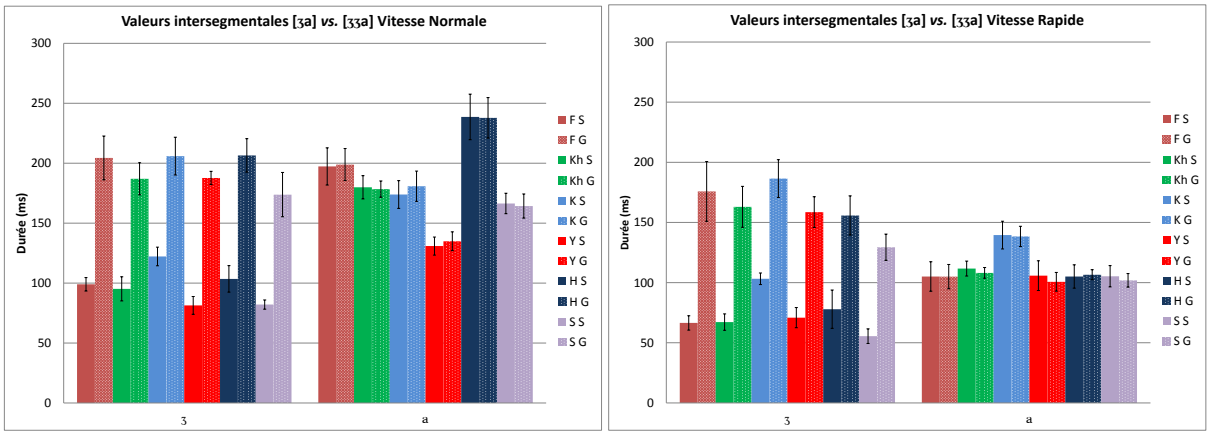


Figure 186 : Les valeurs intersegmentales /ʒa/ *vs.* /ʒʒa/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 72 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /ʒa/ et /ʒʒa/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		ʒ		a		ʒʒ		a	
[ʒa] vs. [ʒʒa]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	99,0	66,5	197,3	105,1	204,4	175,8	198,9	105,0
	Ecart-type	5,6	6,0	15,5	12,3	18,2	24,8	13,3	10,1
Kh	Moyenne	95,2	67,2	179,9	111,7	187,0	163,0	178,4	108,1
	Ecart-type	10,1	6,8	9,7	6,2	13,4	17,0	6,8	4,5
K	Moyenne	122,2	103,2	173,9	139,5	205,9	186,5	180,8	138,4
	Ecart-type	7,8	4,8	11,6	11,5	15,8	15,7	12,6	8,4
Y	Moyenne	81,4	70,9	130,9	105,8	187,7	158,6	134,9	100,7
	Ecart-type	7,4	8,4	7,5	12,3	5,5	12,8	7,9	7,8
H	Moyenne	103,5	77,9	238,6	105,1	206,5	155,8	237,8	106,6
	Ecart-type	11,1	15,9	19,0	9,7	13,9	16,3	16,9	4,1
S	Moyenne	82,1	55,5	166,4	105,3	173,8	129,4	164,3	101,9
	Ecart-type	3,9	6,1	8,5	8,9	18,5	10,9	10,1	5,6

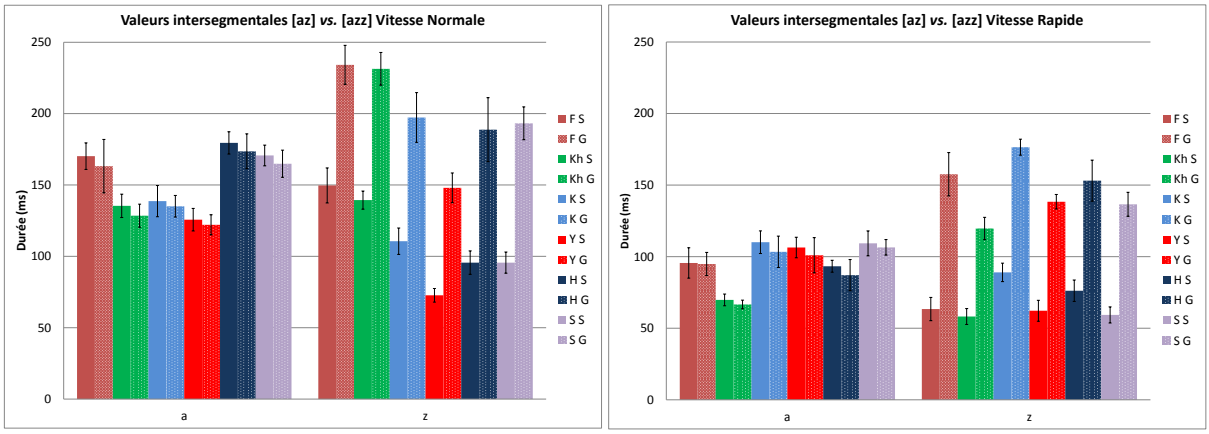


Figure 187 : Les valeurs intersegmentales /az/ *vs.* /azz/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 73 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /az/ et /azz/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		a		z		a		zz	
[az] vs. [azz]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	170,2	95,6	149,7	63,4	163,2	94,9	234,2	157,6
	Ecart-type	9,3	10,6	12,3	8,1	18,7	8,1	13,6	15,1
Kh	Moyenne	135,4	69,8	139,4	58,2	128,5	66,6	231,4	119,7
	Ecart-type	8,2	4,1	6,4	5,6	8,1	3,0	11,5	7,8
K	Moyenne	138,7	110,1	110,6	89,0	135,1	103,4	197,3	176,5
	Ecart-type	10,9	7,9	9,2	6,4	7,6	11,0	17,4	5,6
Y	Moyenne	125,7	106,4	72,7	62,2	122,1	101,0	148,0	138,4
	Ecart-type	7,9	7,2	4,8	7,3	7,1	12,3	10,4	5,1
H	Moyenne	179,5	93,3	95,6	76,2	173,6	87,1	188,8	153,1
	Ecart-type	7,8	4,2	8,2	7,5	12,2	10,9	22,4	14,4
S	Moyenne	170,7	109,3	95,6	59,3	164,9	106,5	193,2	136,6
	Ecart-type	7,3	8,7	7,4	5,6	9,5	5,4	11,5	8,4

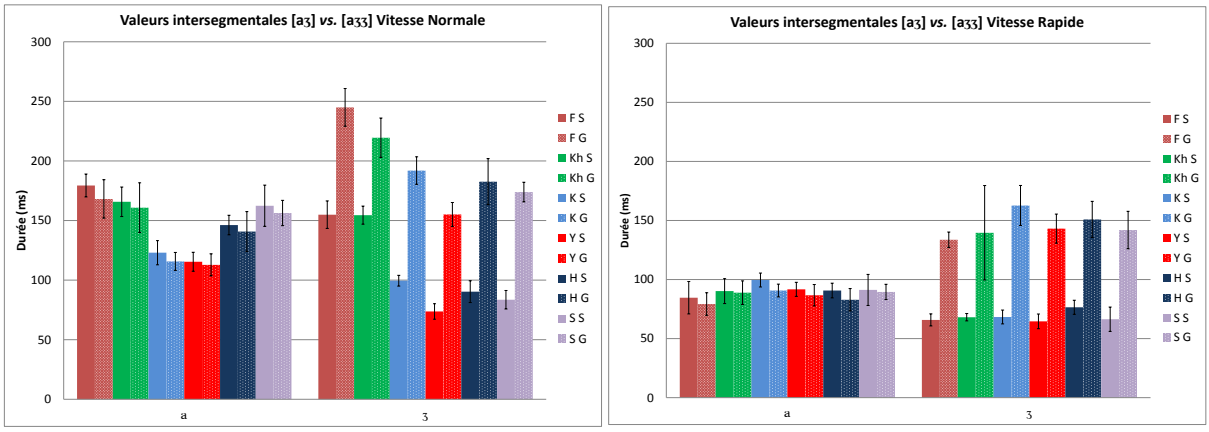


Figure 188 : Les valeurs intersegmentales /a3/ *vs.* /a33/ en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite (S= simple et G= Géminée).

Tableau 74 : Les valeurs des moyennes et des écarts-types des durées intersegmentales (en noir pour la vitesse d'élocution normale et en rouge pour la vitesse d'élocution rapide) pour /a3/ et /a33/ en (ms).

		Simple				Géminée			
		a		3		a		33	
[a3] vs. [a33]		VN	VR	VN	VR	VN	VR	VN	VR
F	Moyenne	179,4	84,6	154,9	65,8	168,1	79,3	244,9	133,7
	Ecart-type	9,6	13,7	11,6	5,1	16,1	9,5	15,8	6,5
Kh	Moyenne	165,7	90,2	154,5	68,1	160,8	88,9	219,5	139,6
	Ecart-type	12,4	10,5	7,6	3,1	20,9	10,0	16,5	40,0
K	Moyenne	123,0	99,6	99,5	68,3	115,7	90,7	191,9	162,7
	Ecart-type	10,1	5,9	4,5	5,9	7,5	5,4	11,5	16,9
Y	Moyenne	115,4	91,7	73,7	64,6	112,8	86,7	155,1	143,1
	Ecart-type	8,0	6,0	6,5	6,2	9,3	9,1	10,0	12,3
H	Moyenne	146,2	90,7	90,3	76,5	140,8	82,9	182,6	150,9
	Ecart-type	8,2	6,2	9,1	6,0	16,7	9,5	19,3	15,3
S	Moyenne	162,4	91,2	83,5	66,4	156,3	89,5	173,9	141,9
	Ecart-type	17,3	13,2	7,8	10,3	10,6	6,5	8,2	15,9

19 Annexe 2

Larynx-Os hyoïde :

En position intervocalique :

Kh

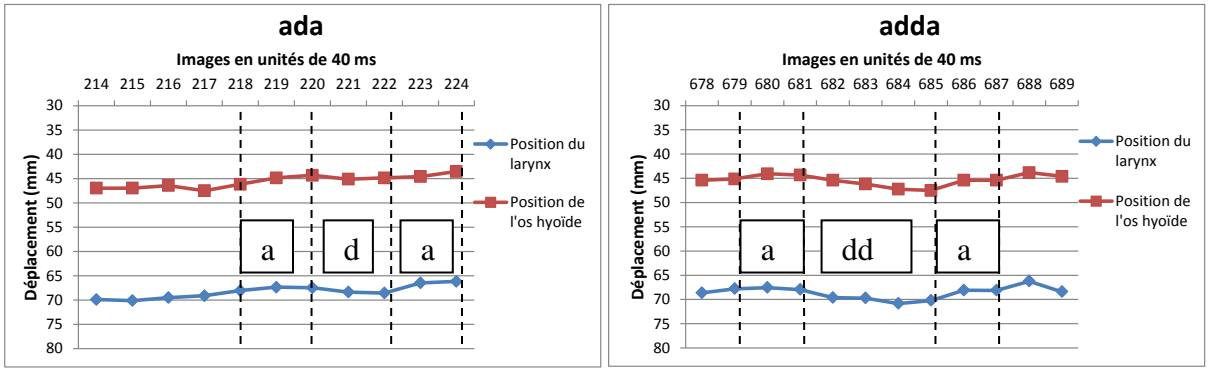


Figure 189 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ada/ (à gauche) et /adda/ (à droite) ; locuteur Kh

F

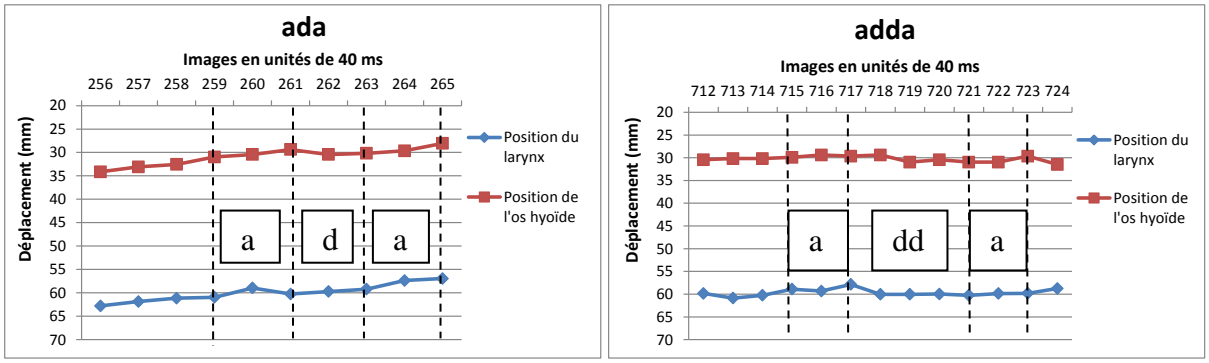


Figure 190 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ada/ (à gauche) et /adda/ (à droite) ; locuteur F

Kh

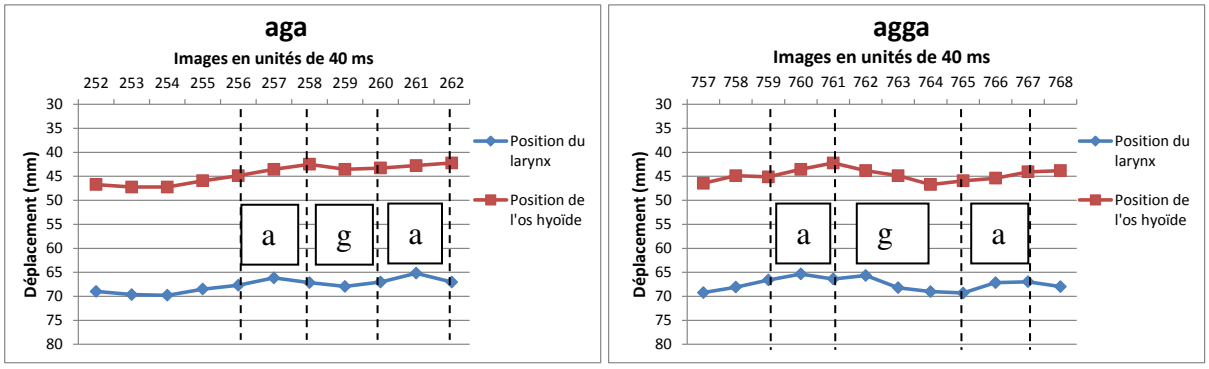


Figure 191 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aga/ (à gauche) et /agga/ (à droite) ; locuteur Kh

F

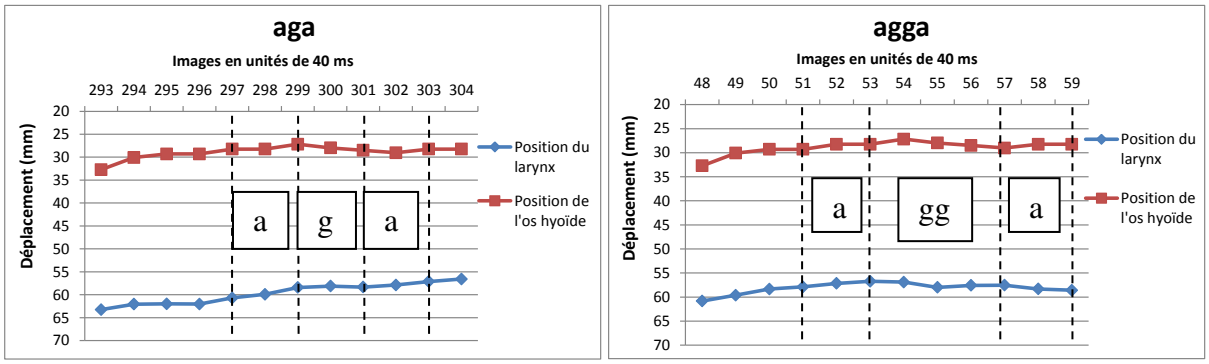


Figure 192 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aga/ (à gauche) et /agga/ (à droite) ; locuteur F

Kh

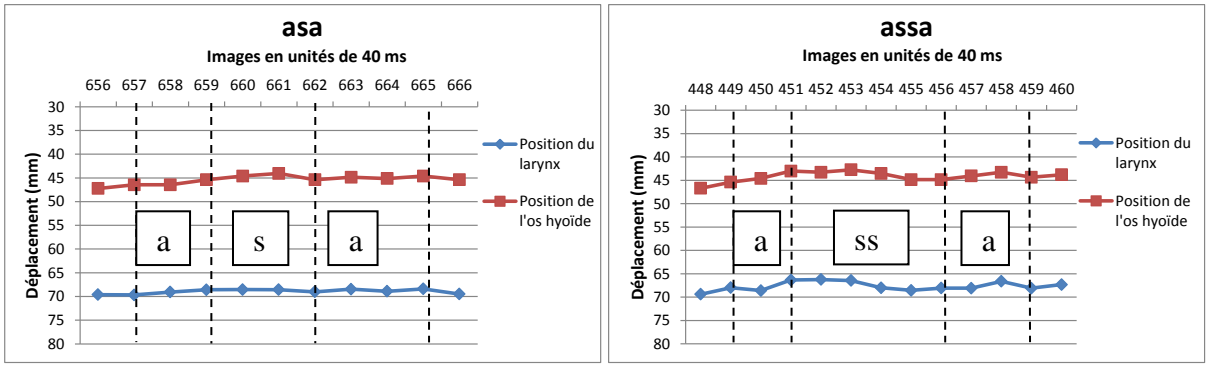


Figure 193 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /asa/ (à gauche) et /assa/ (à droite) ; locuteur Kh

F

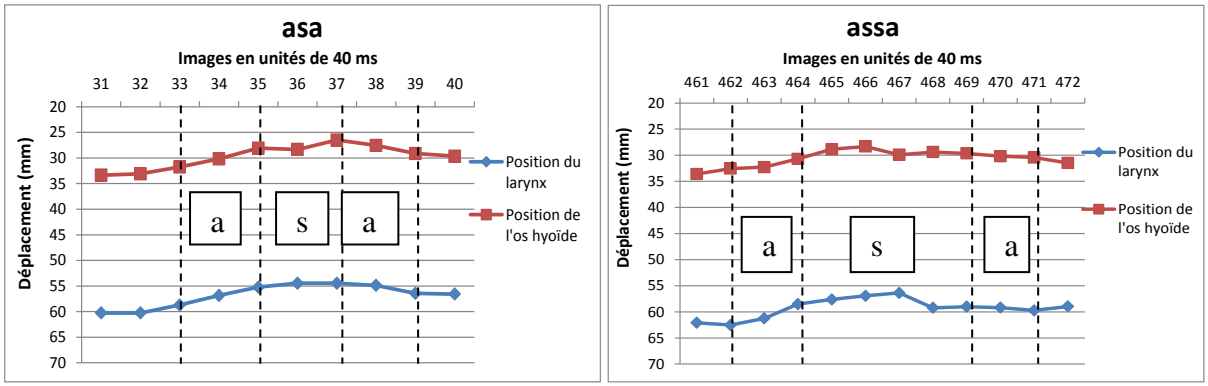


Figure 194 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /asa/ (à gauche) et /assa/ (à droite) ; locuteur F

Kh

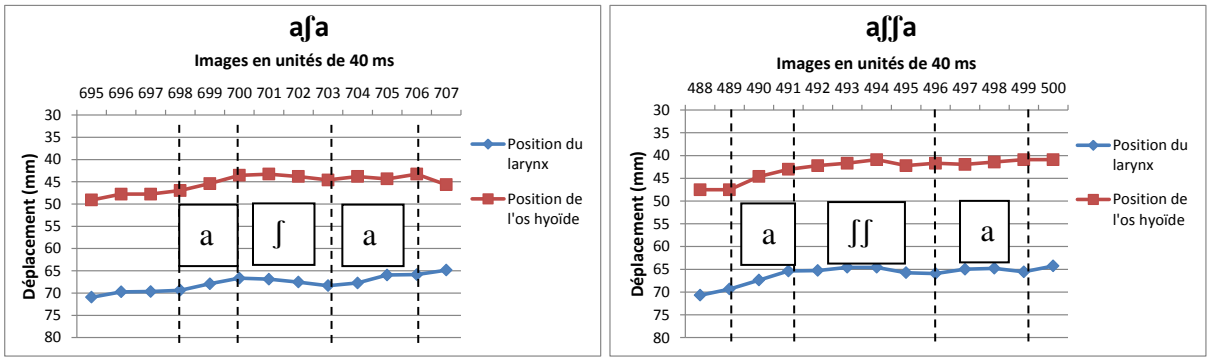


Figure 195 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aʃa/ (à gauche) et /aʃʃa/ (à droite) ; locuteur Kh

F

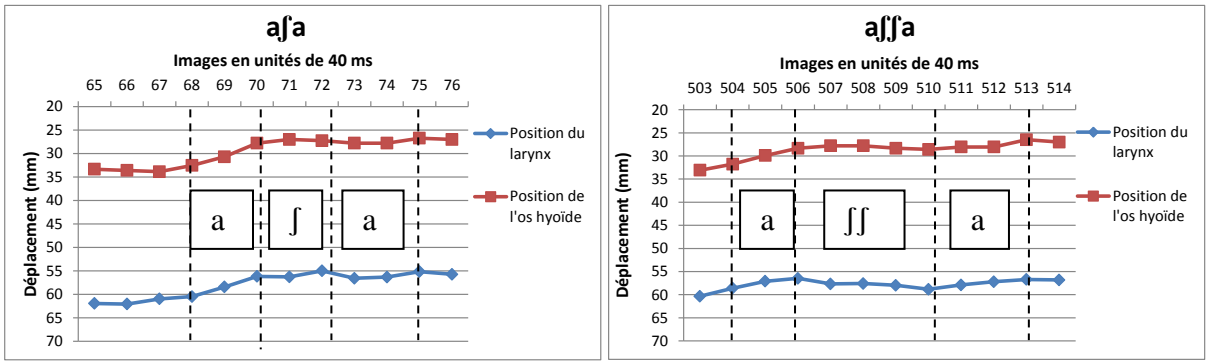


Figure 196 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aʃa/ (à gauche) et /aʃʃa/ (à droite) ; locuteur F

Kh

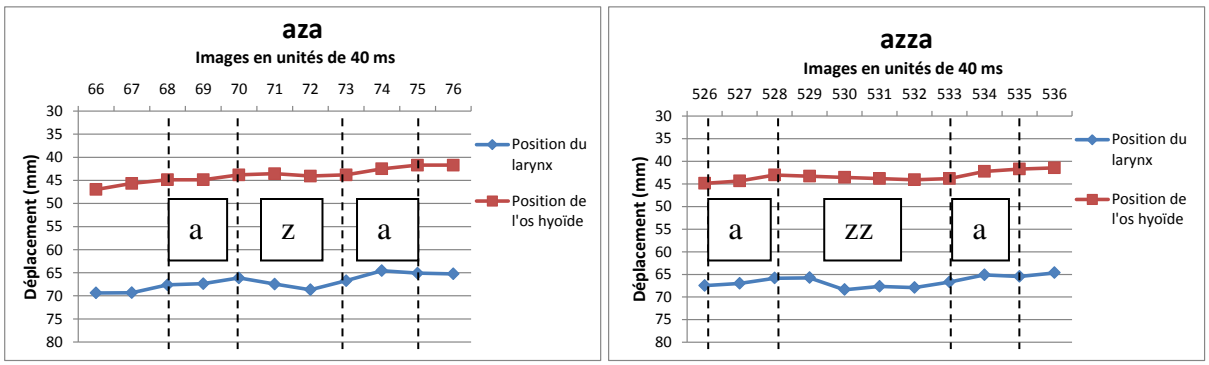


Figure 197 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aza/ (à gauche) et /azza/ (à droite) ; locuteur Kh

F

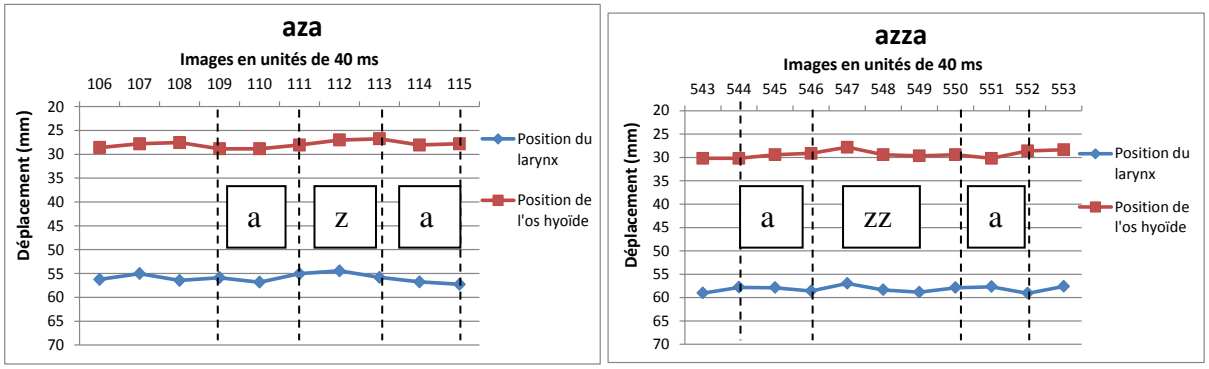


Figure 198 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aza/ (à gauche) et /azza/ (à droite) ; locuteur F

Kh

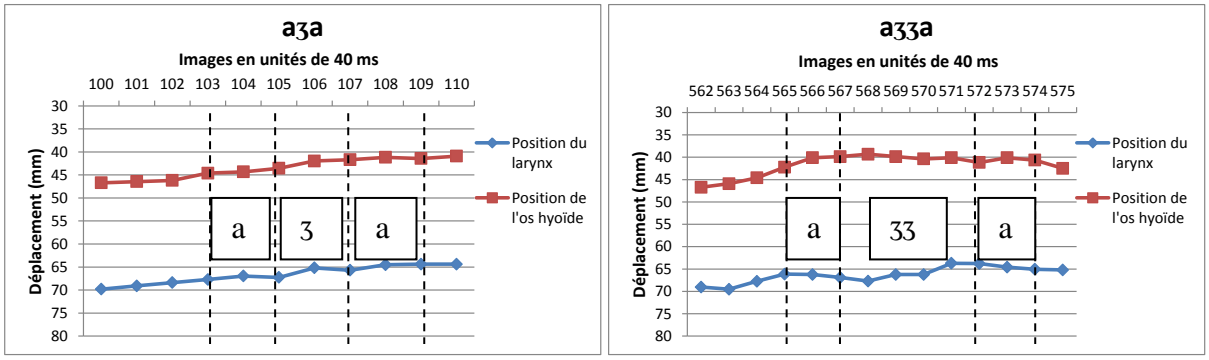


Figure 199 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aʒa/ (à gauche) et /aʒʒa/ (à droite) ; locuteur Kh

F

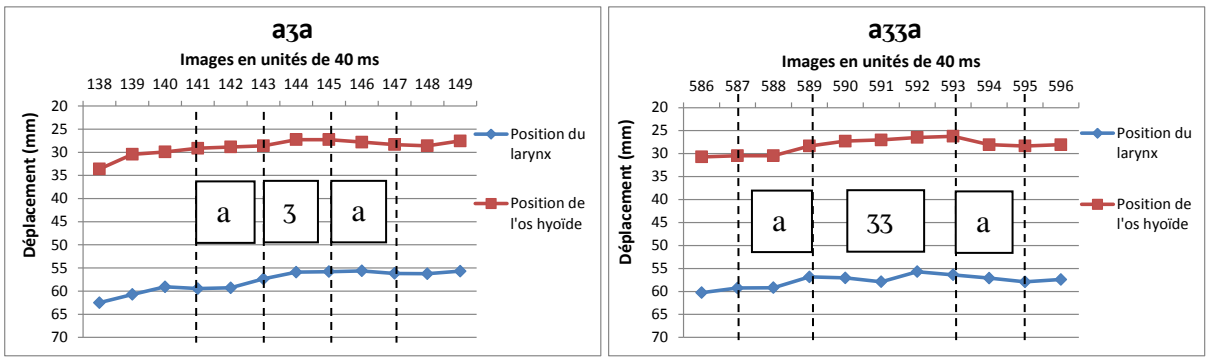


Figure 200 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /a3a/ (à gauche) et /a33a/ (à droite) ; locuteur F

En position initial:

Kh

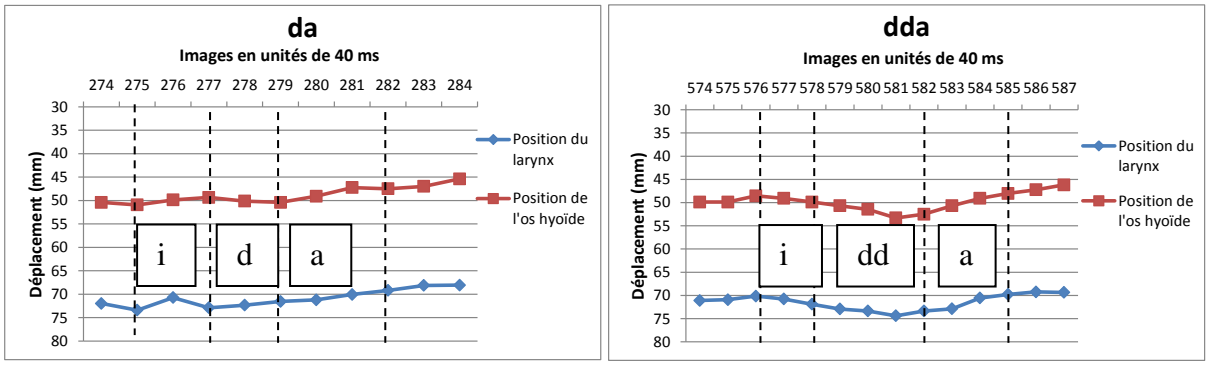


Figure 201 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /da/ (à gauche) et /dda/ (à droite) ; locuteur Kh

F

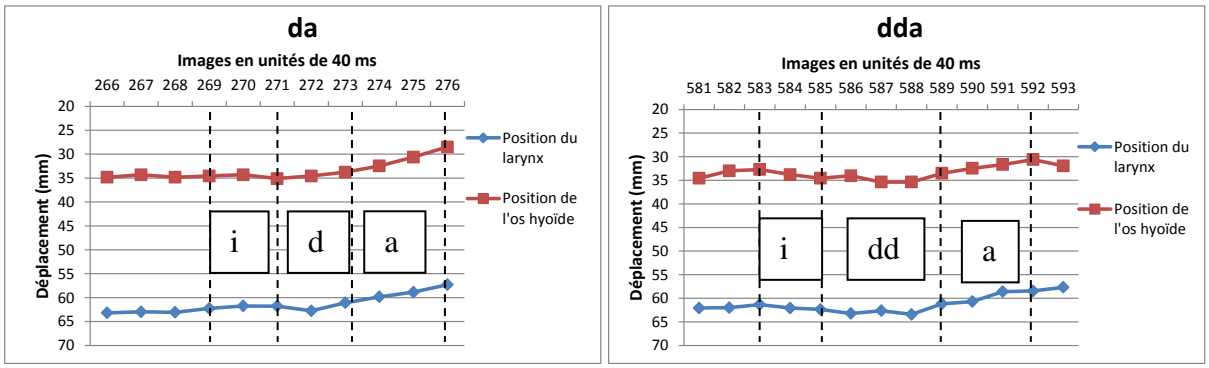


Figure 202 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ida/ (à gauche) et /idda/ (à droite) ; locuteur F

Kh

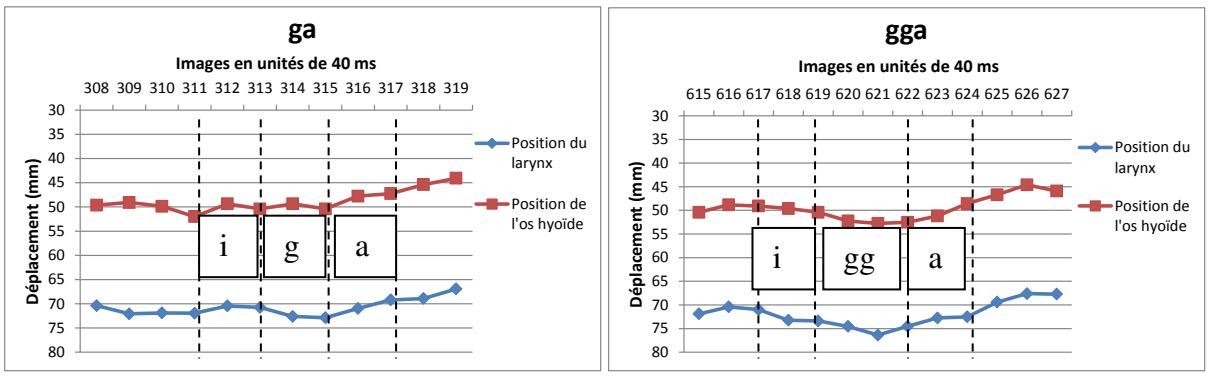


Figure 203 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iga/ (à gauche) et /igga/ (à droite) ; locuteur Kh

F

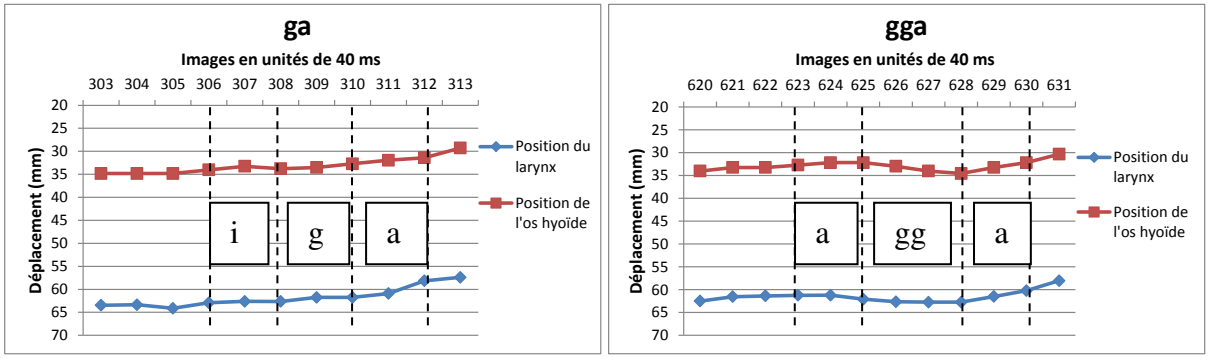


Figure 204 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iga/ (à gauche) et /igga/ (à droite) ; locuteur F

Kh

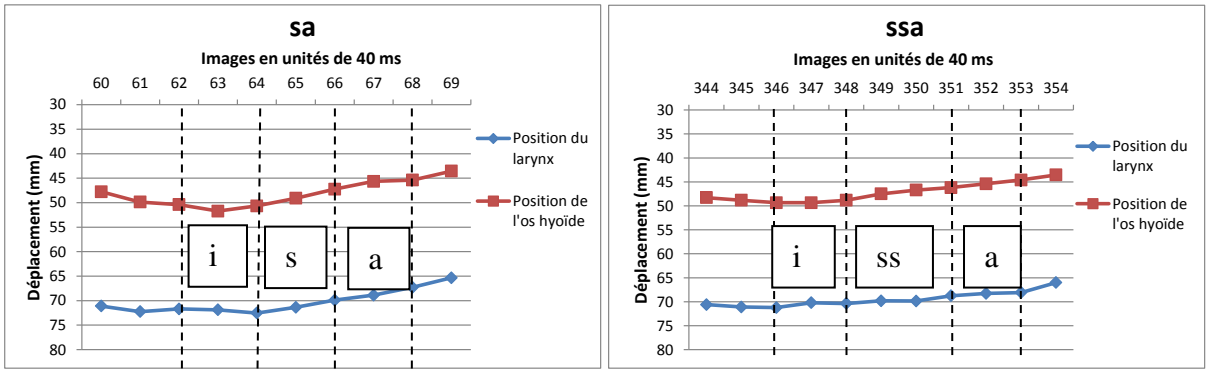


Figure 205 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /isa/ (à gauche) et /issa/ (à droite) ; locuteur Kh

F

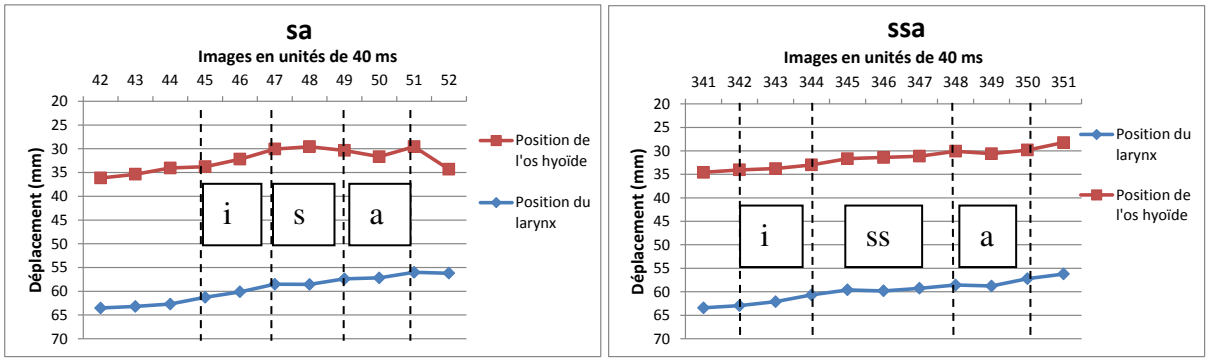


Figure 206 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /isa/ (à gauche) et /issa/ (à droite) ; locuteur F

Kh

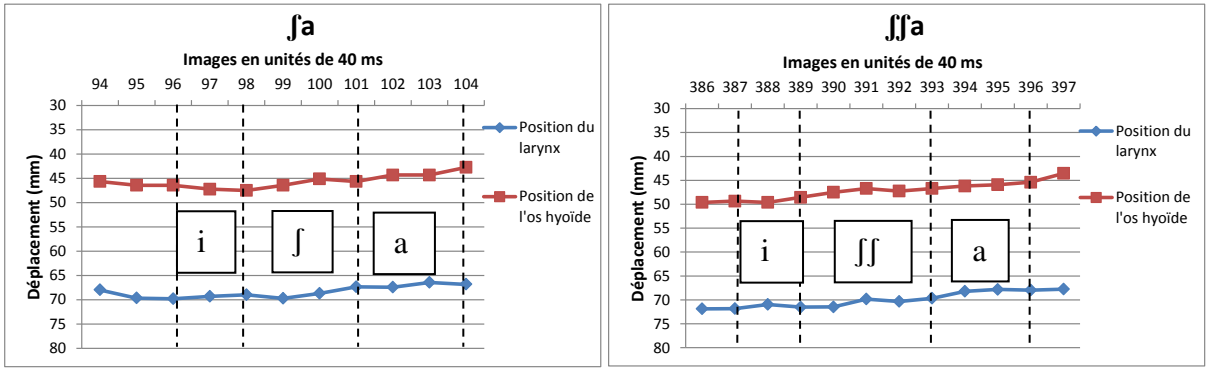


Figure 207 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iʃa/ (à gauche) et /iʃʃa/ (à droite) ; locuteur Kh

F

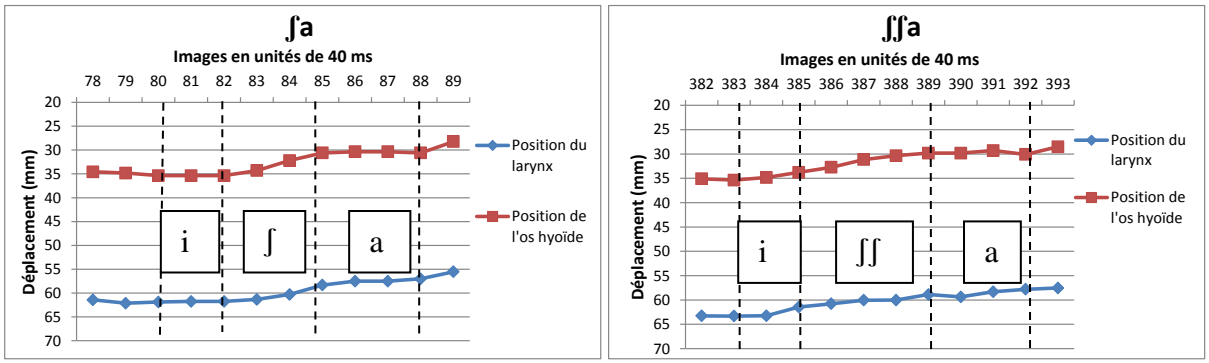


Figure 208 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iʃa/ (à gauche) et /iʃʃa/ (à droite) ; locuteur F

Kh

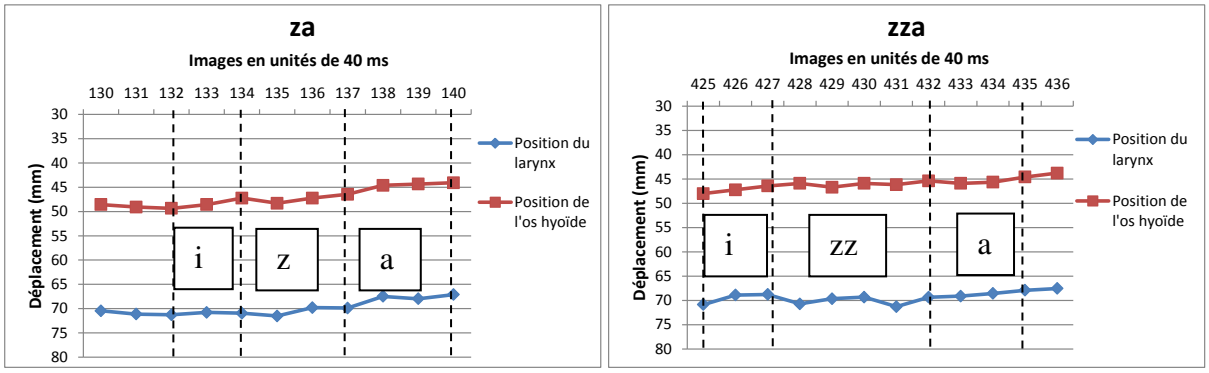


Figure 209 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iza/ (à gauche) et /izza/ (à droite) ; locuteur Kh

F

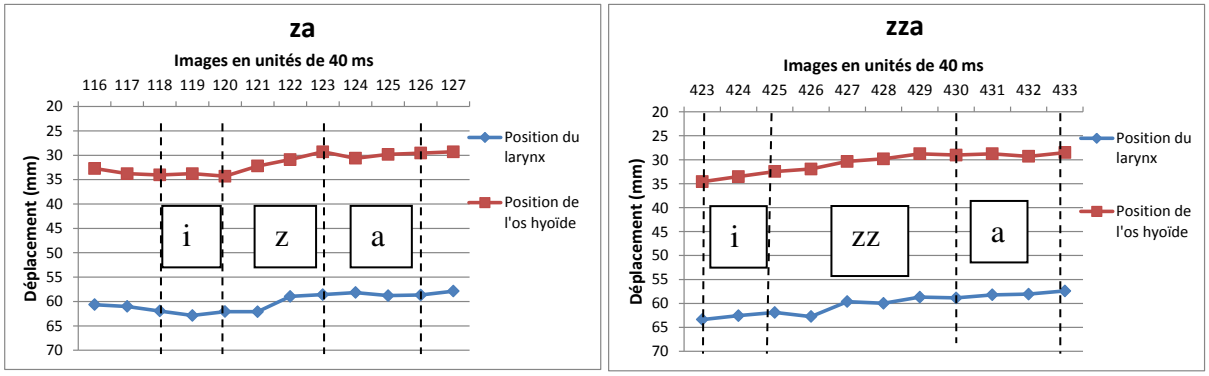


Figure 210 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iza/ (à gauche) et /izza/ (à droite) ; locuteur F

Kh

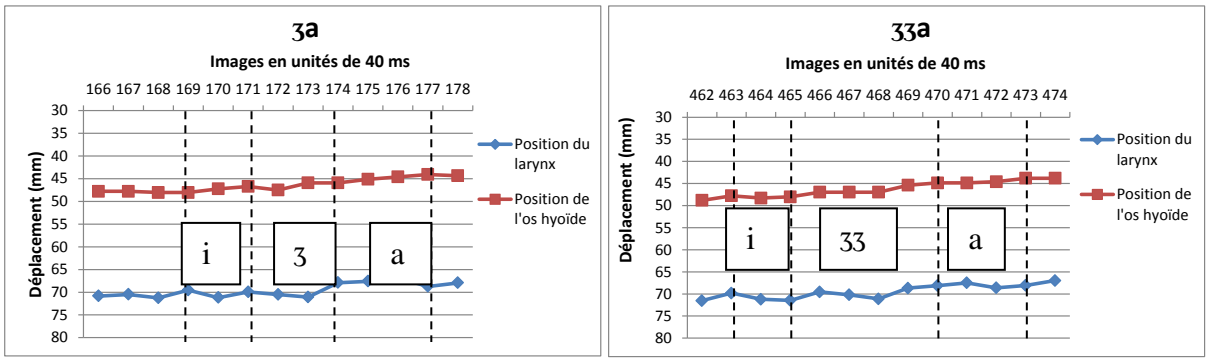


Figure 211 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iʒa/ (à gauche) et /iʒʒa/ (à droite) ; locuteur Kh

F

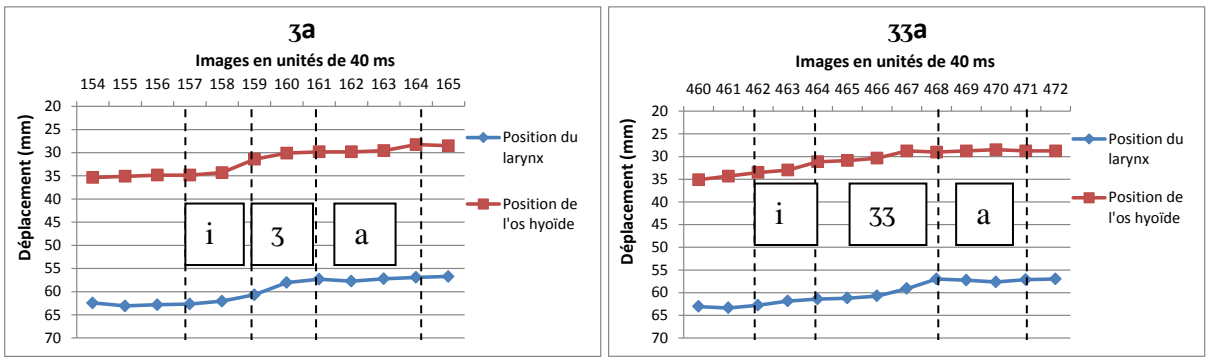


Figure 212 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /iʒa/ (à gauche) et /iʒʒa/ (à droite) ; locuteur F

En position finale :

Kh

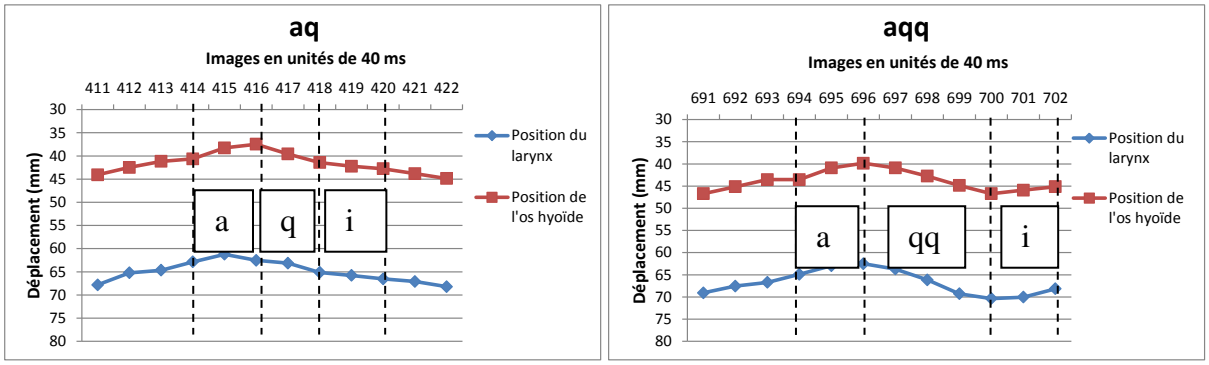


Figure 213 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aqi/ (à gauche) et /aqqi/ (à droite) ; locuteur Kh

F

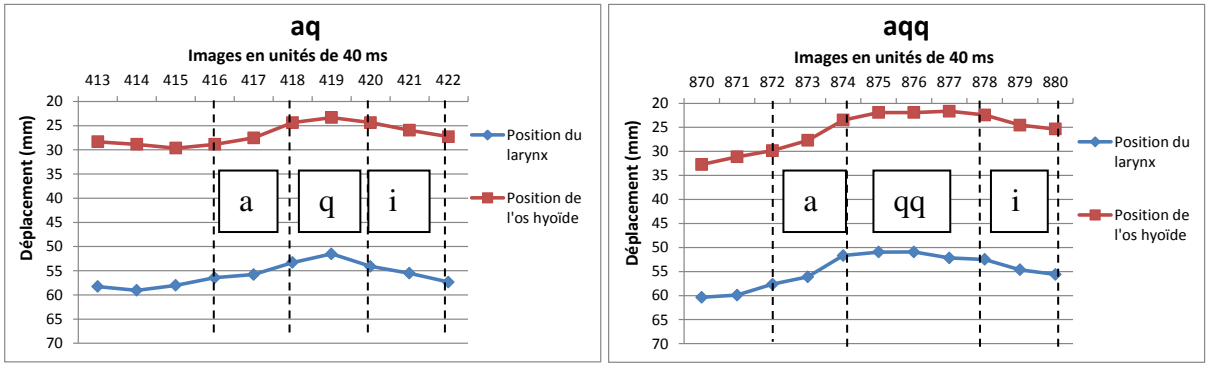


Figure 214 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aqi/ (à gauche) et /aqqi/ (à droite) ; locuteur F

Kh

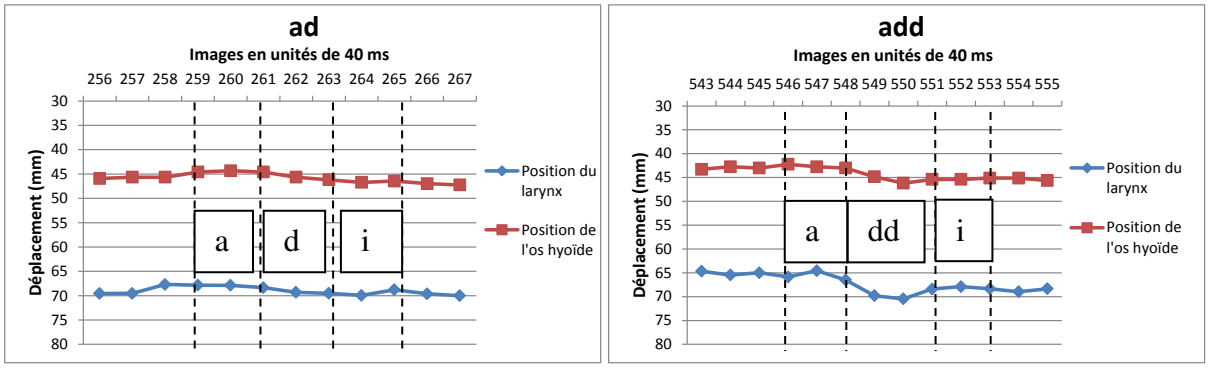


Figure 215 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /adi/ (à gauche) et /addi/ (à droite) ; locuteur Kh

F

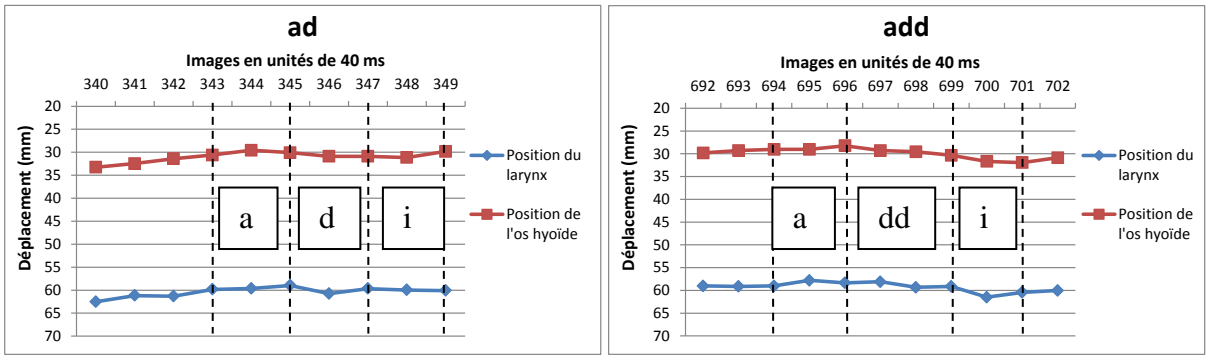


Figure 216 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /adi/ (à gauche) et /addi/ (à droite) ; locuteur F

Kh

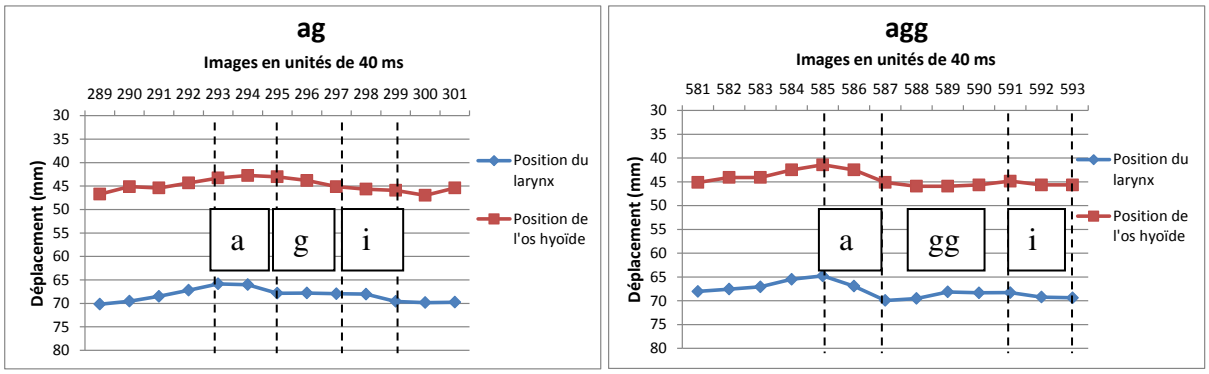


Figure 217 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /agi/ (à gauche) et /aggi/ (à droite) ; locuteur Kh

F

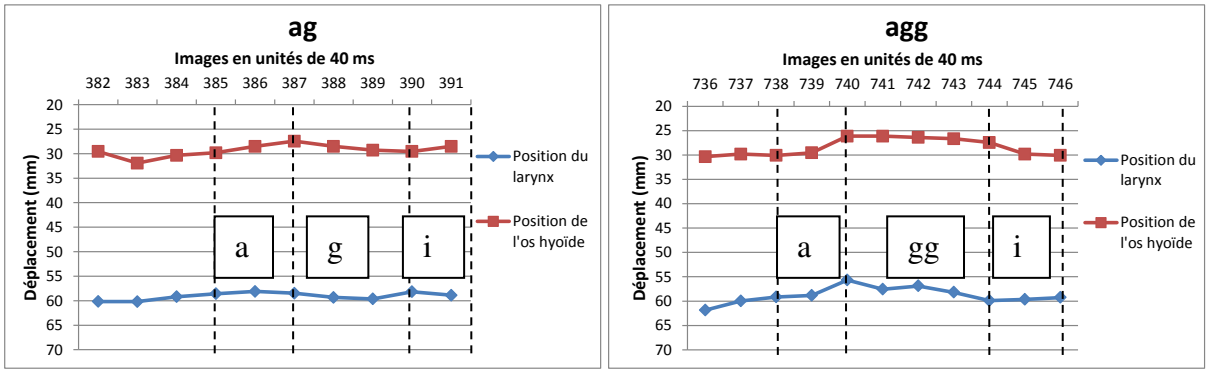


Figure 218 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /agi/ (à gauche) et /aggi/ (à droite) ; locuteur F

Kh

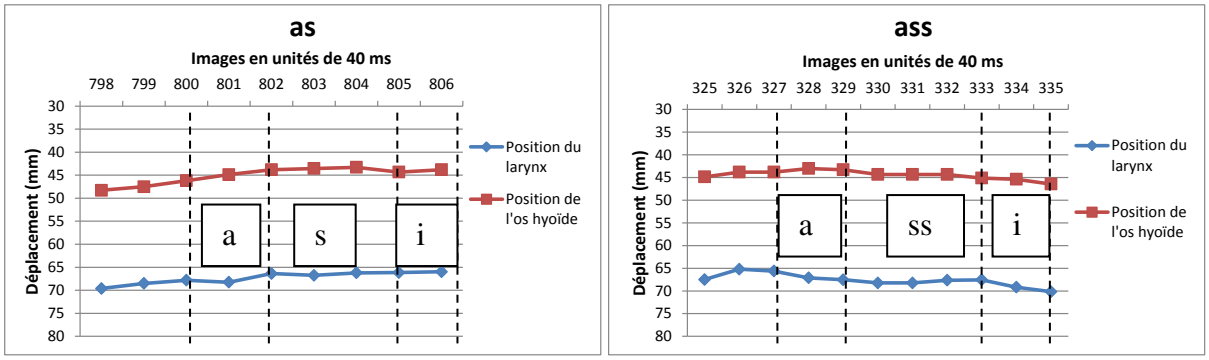


Figure 219 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /asi/ (à gauche) et /assi/ (à droite) ; locuteur Kh

F

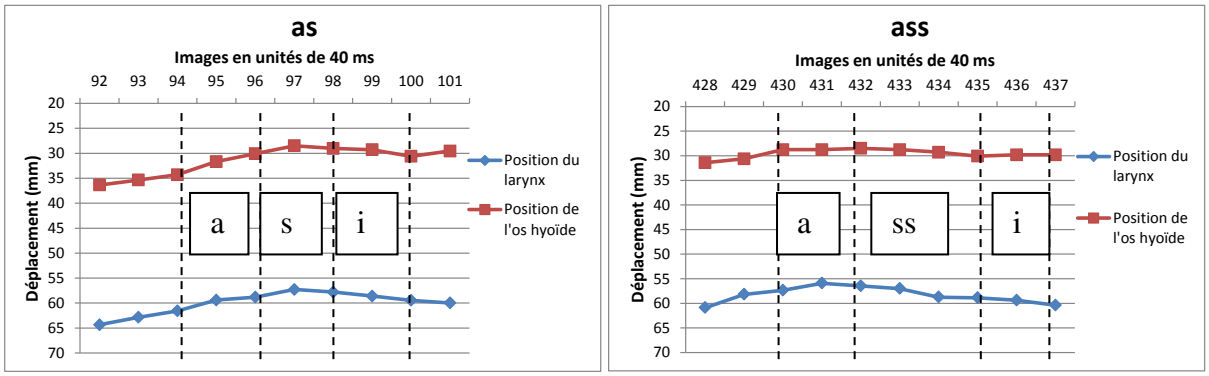


Figure 220 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /asi/ (à gauche) et /assi/ (à droite) ; locuteur F

Kh

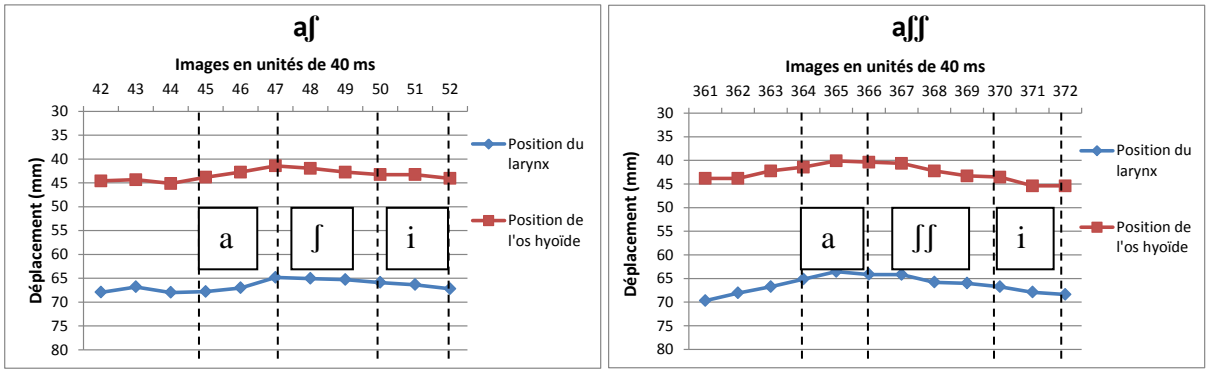


Figure 221: Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aʃi/ (à gauche) et /aʃʃi/ (à droite) ; locuteur Kh

F

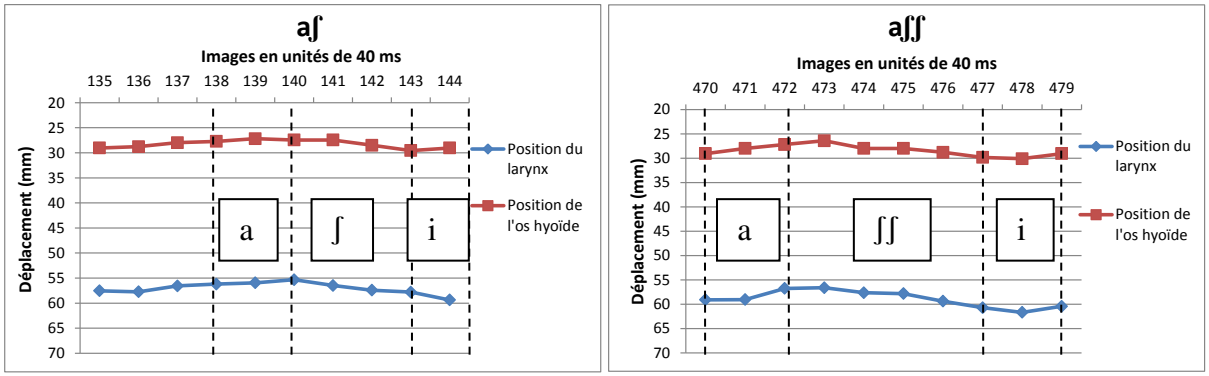


Figure 222: Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /aʃi/ (à gauche) et /aʃʃi/ (à droite) ; locuteur F

Kh

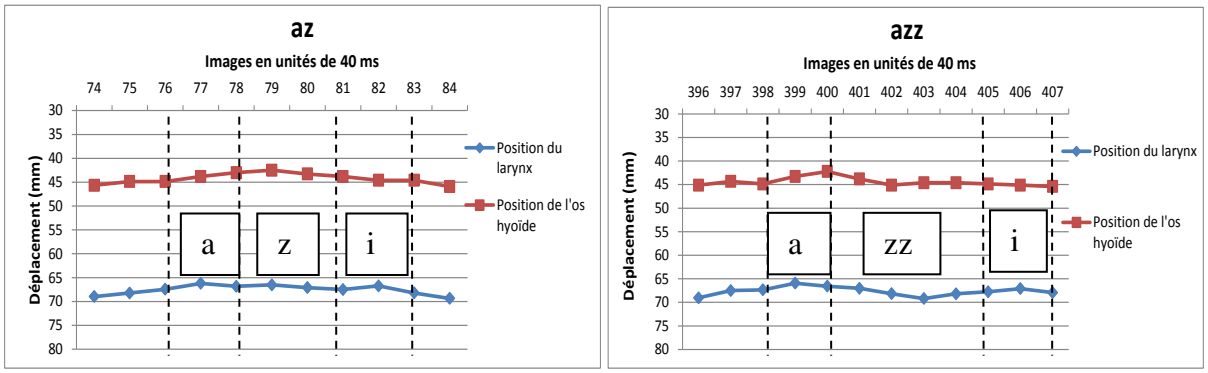


Figure 223: Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /azi/ (à gauche) et /azzi/ (à droite) ; locuteur Kh

F

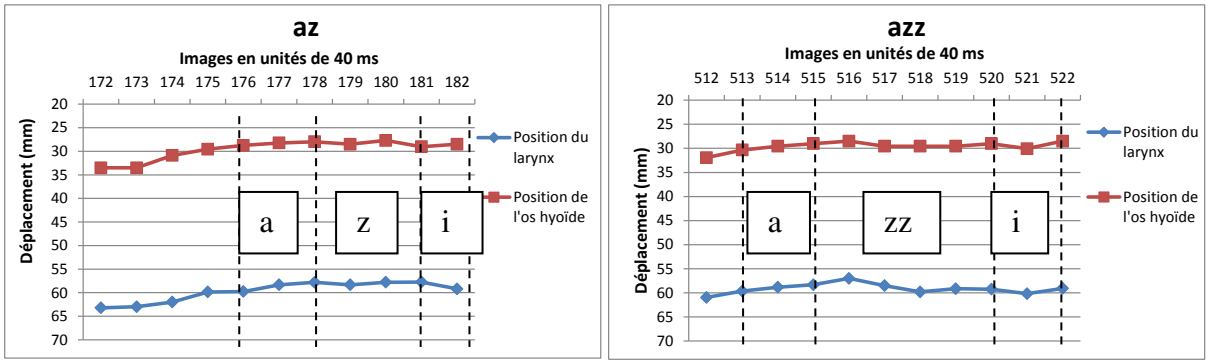


Figure 224 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /azi/ (à gauche) et /azzi/ (à droite) ; locuteur F

Kh

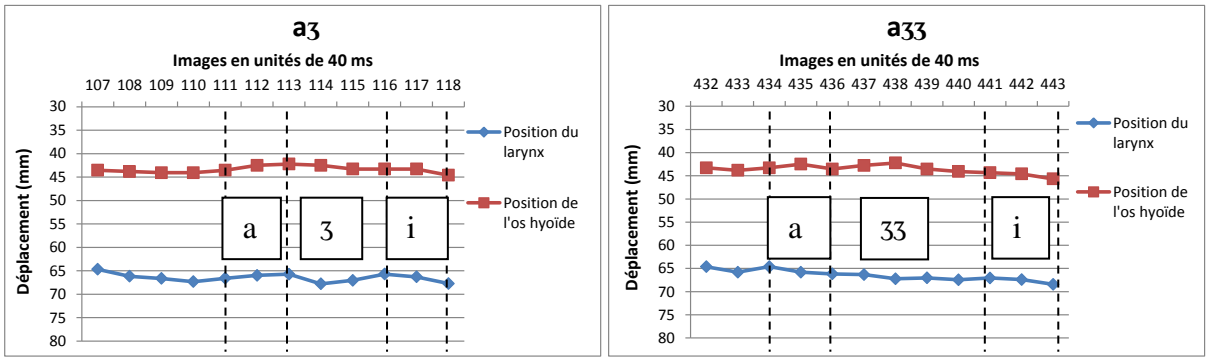


Figure 225 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /a3i/ (à gauche) et /a33i/ (à droite) ; locuteur Kh

F

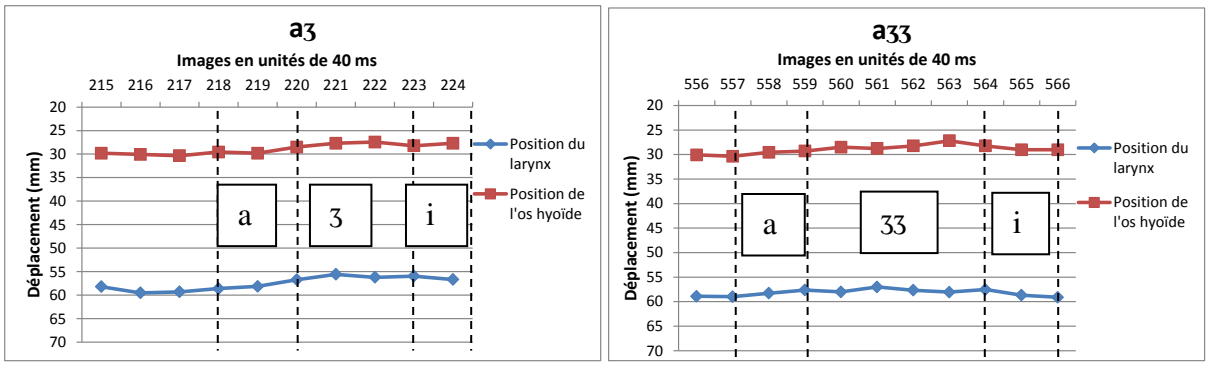


Figure 226 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /a3i/ (à gauche) et /a33i/ (à droite) ; locuteur F

20 Annexe 3

Tableau 75 : données correspondant à l'étendue de contact des occlusives en position initiale, intervocalique et finale du locuteur Kh

		t	tt	k	kk	q	qq
Etendue de contact (mm)	CV	6	9	12	17	12	14
	VCV	6	9	13	20	7	20
	VC	6	11	11	22	11	19
		d	dd	g	gg		
	CV	5	9	10	17		
	VCV	5	9	13	20		
	VC	6	10	11	18		

Tableau 76 : données correspondant à l'étendue de contact des occlusives en position initiale, intervocalique et finale du locuteur F

		t	tt	k	kk	q	qq
Etendue de contact (mm)	CV	5	9	12	21	14	26
	VCV	5	11	11	18	13	20
	VC	5	11	11	22	11	33
		d	dd	g	gg		
	CV	5	11	12	22		
	VCV	5	10	11	18		
	VC	4	10	9	20		

Etendu de contact VCV locuteur Kh

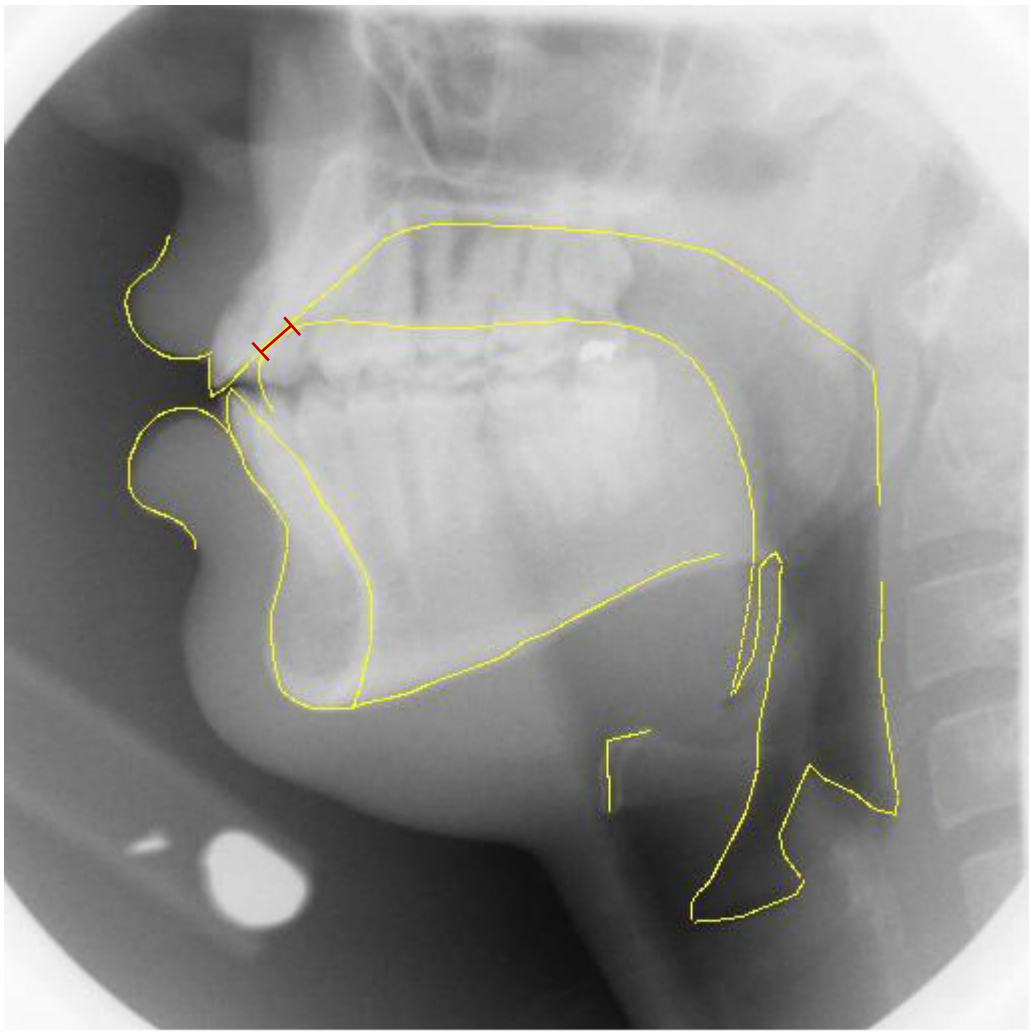


Figure 227 : Étendue de contact (Kh : /t/=6mm)

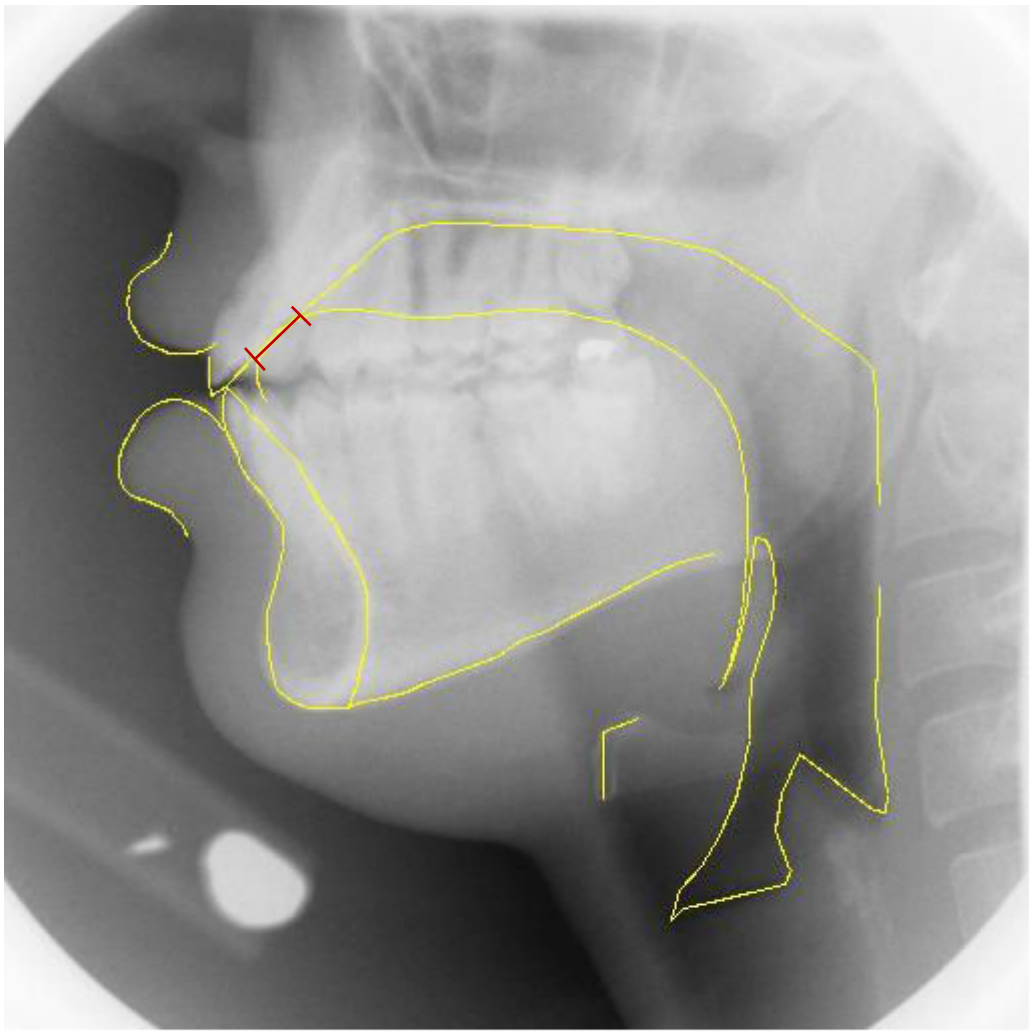


Figure 228 : Étendue de contact (Kh : /tt/=9mm)

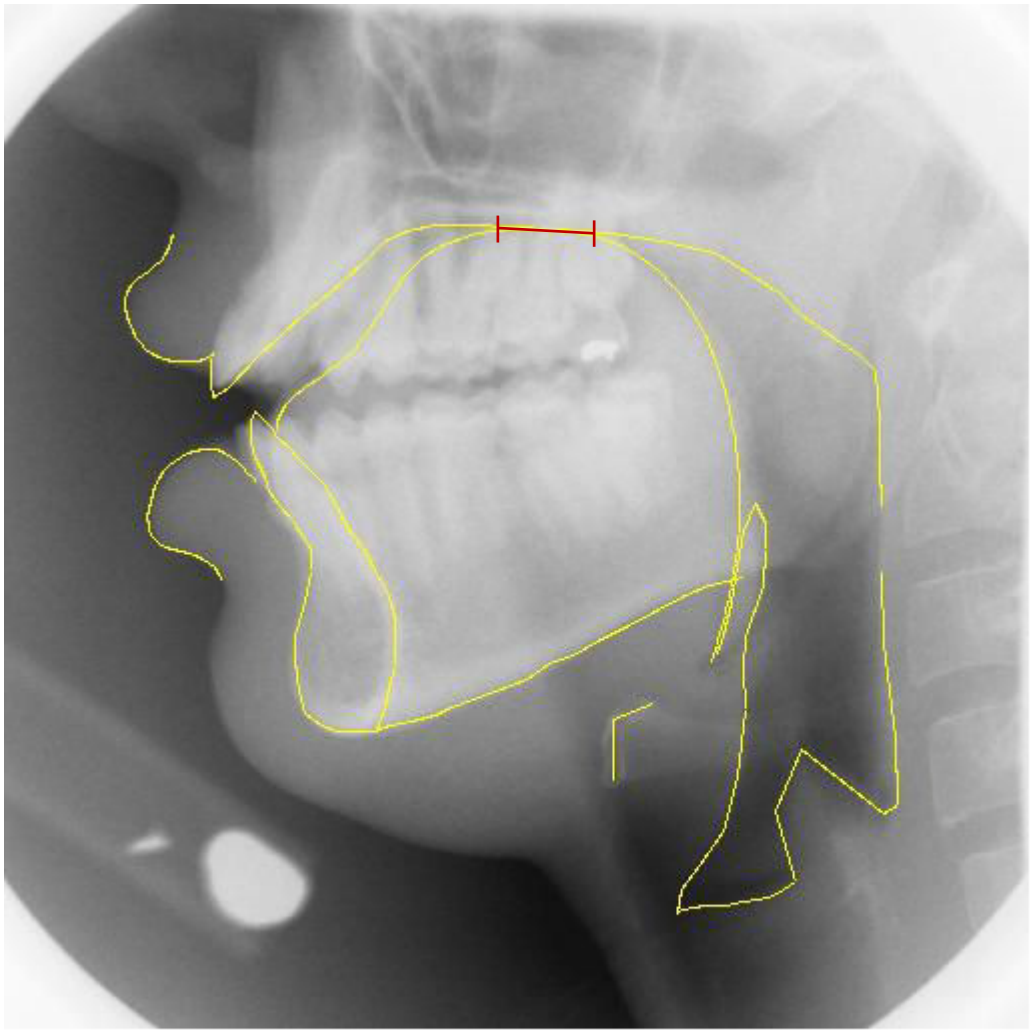


Figure 229 : Étendue de contact (Kh : /k/=13mm)

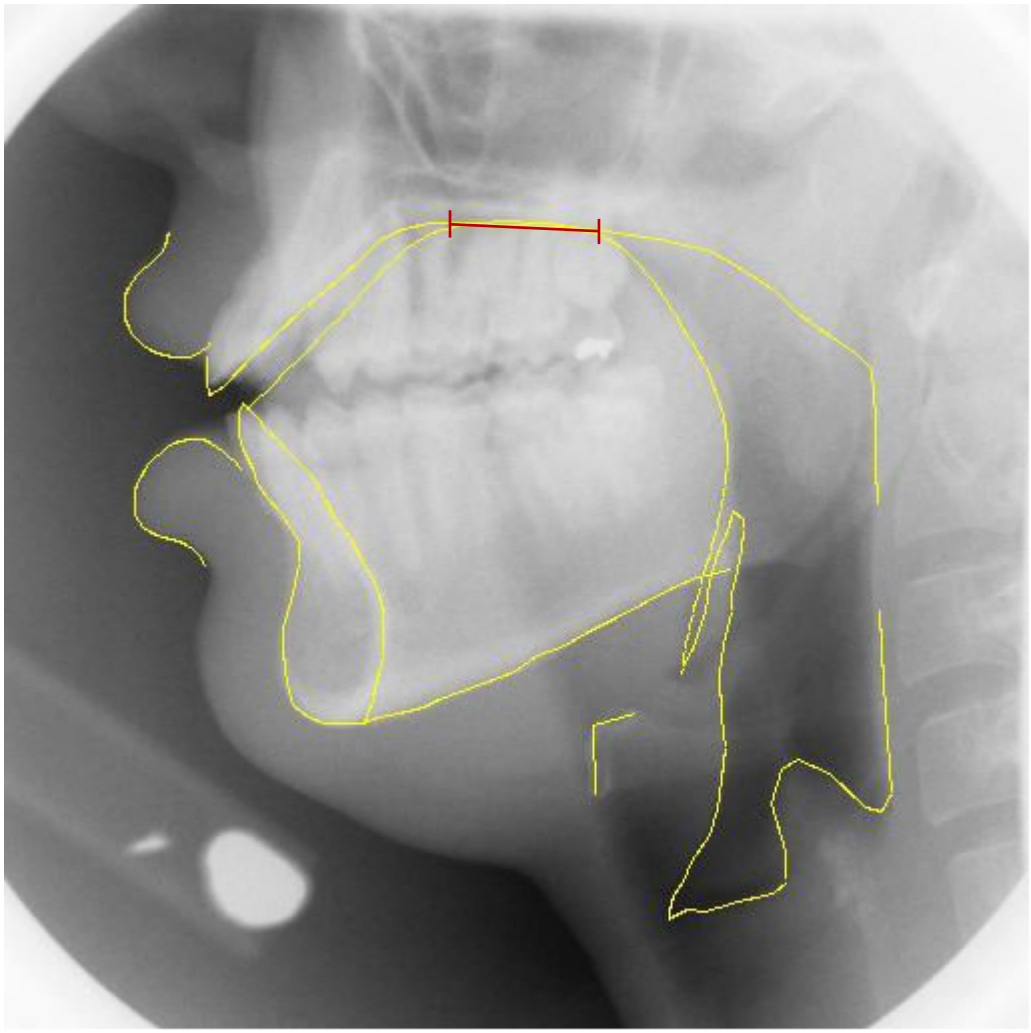


Figure 230 : Étendue de contact (Kh : /kk/=20mm)

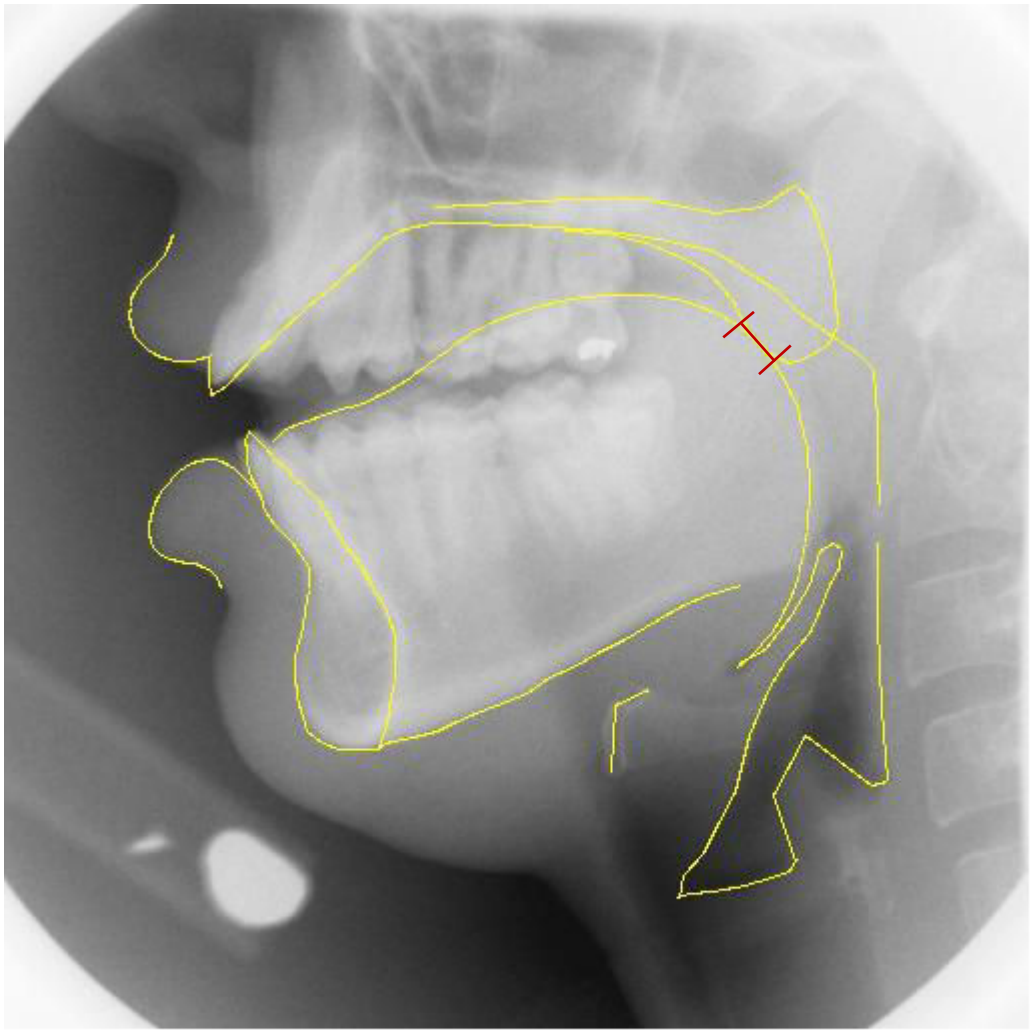


Figure 231 : Étendue de contact (/q/=7mm) Locuteur Kh

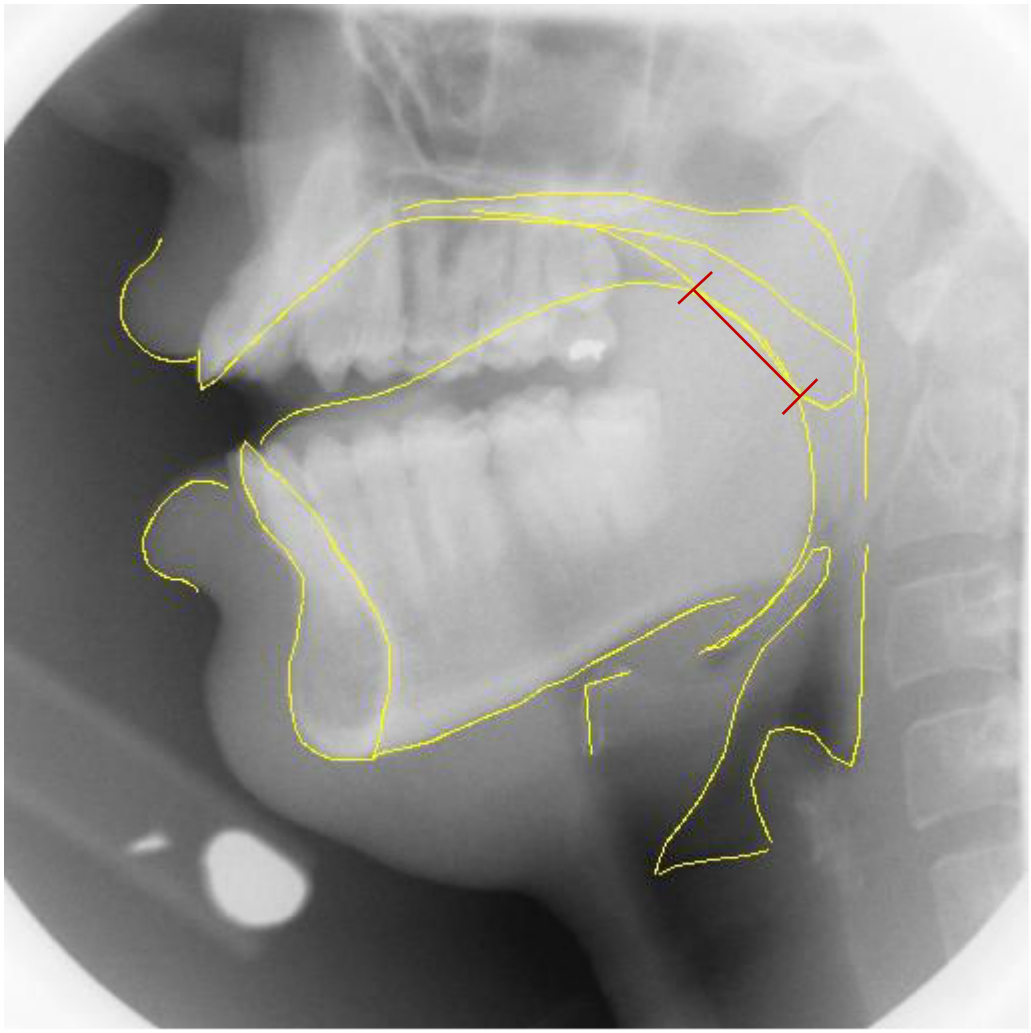


Figure 232 : Étendue de contact (Kh : /qq/=20mm)

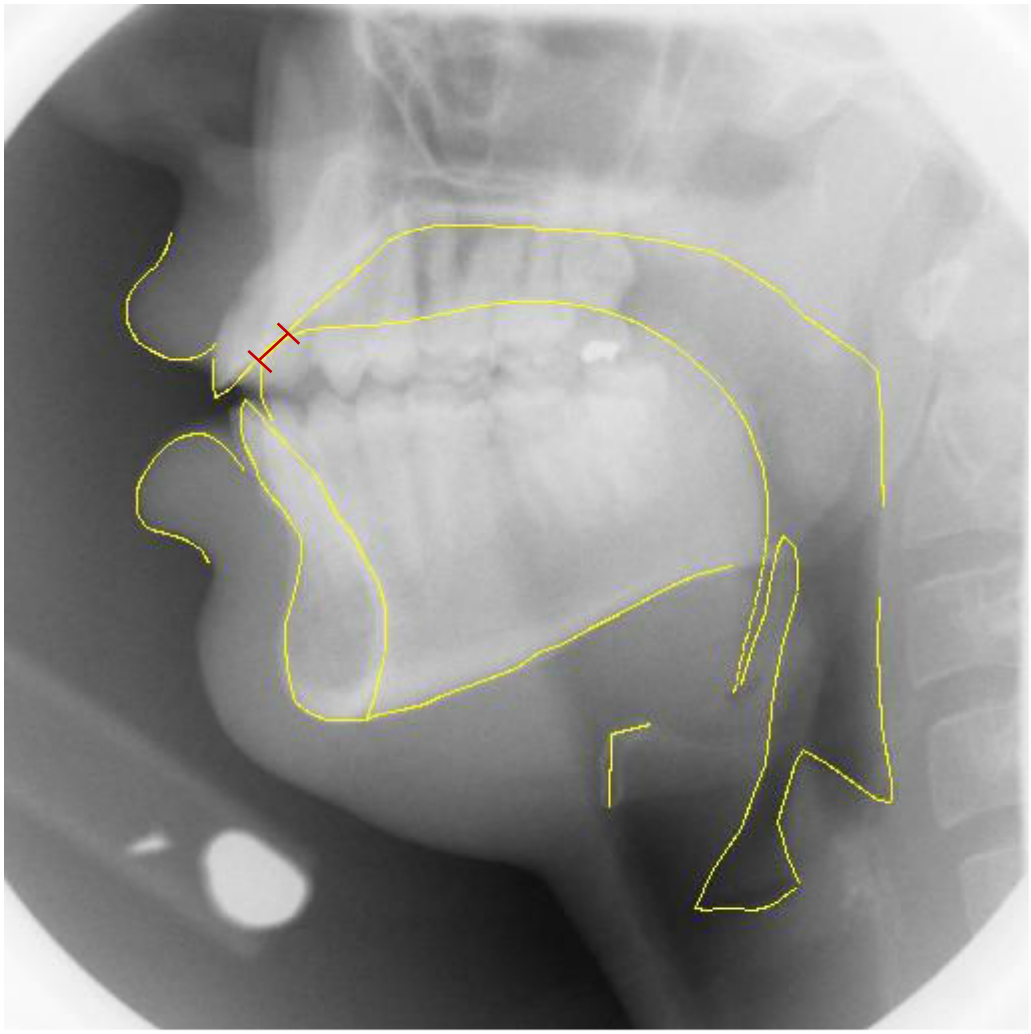


Figure 233 : Étendue de contact (Kh : /d/=5mm)

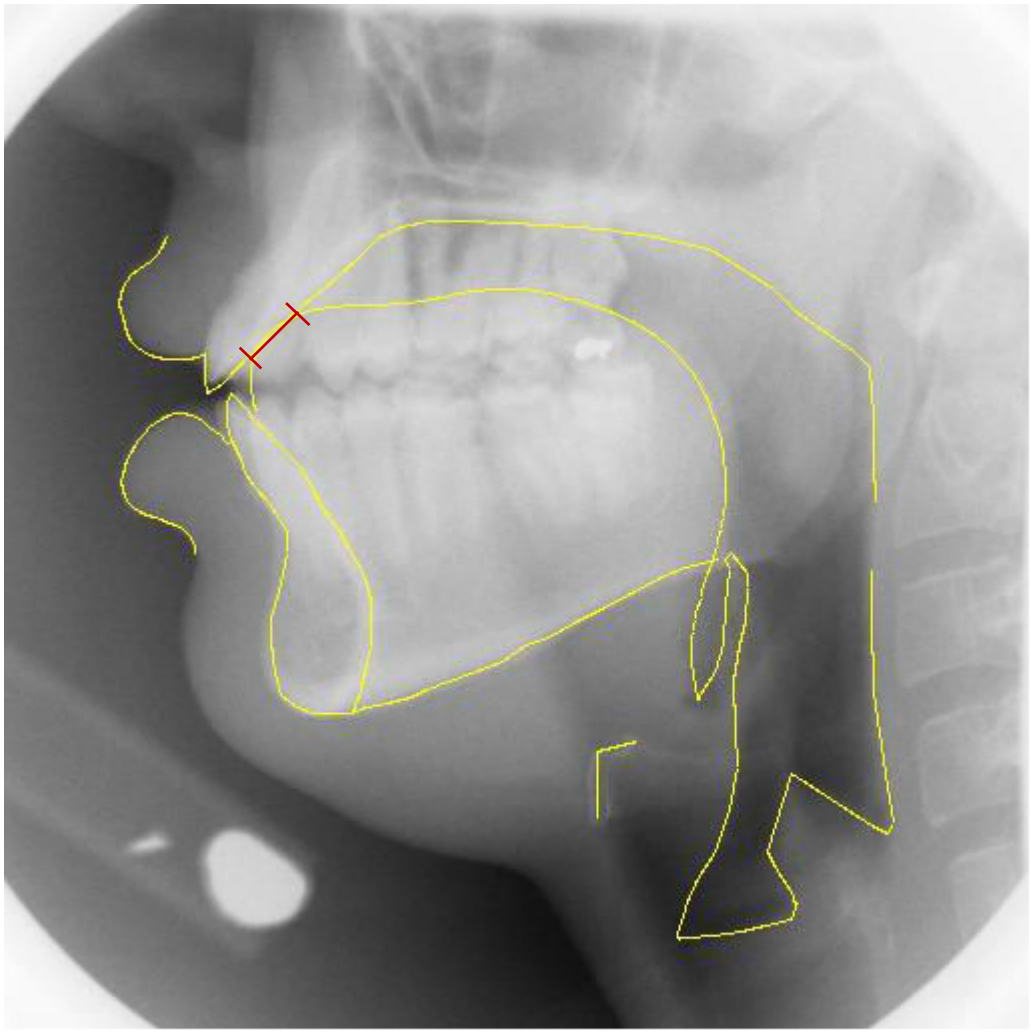


Figure 234 : Étendue de contact (Kh : /dd/=9mm)

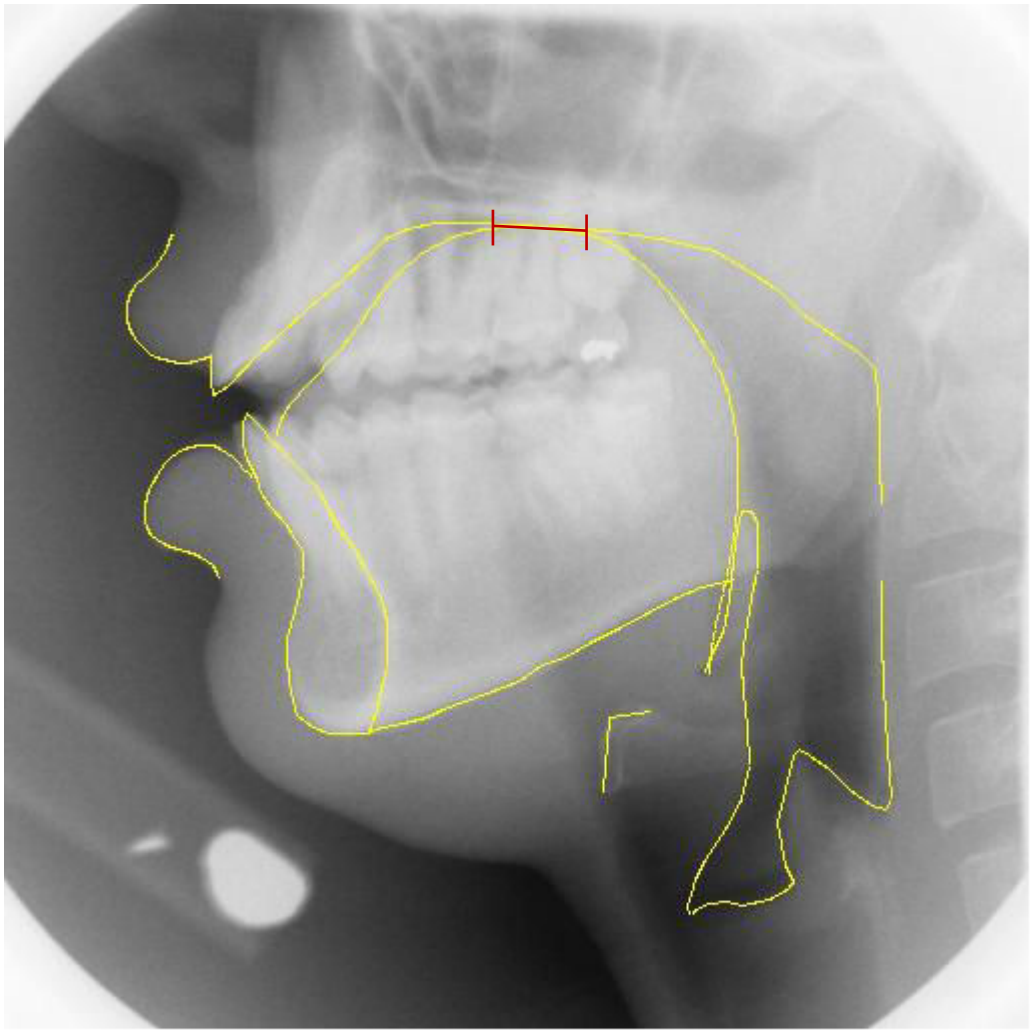


Figure 235 : Étendue de contact (Kh : /g/=13mm)

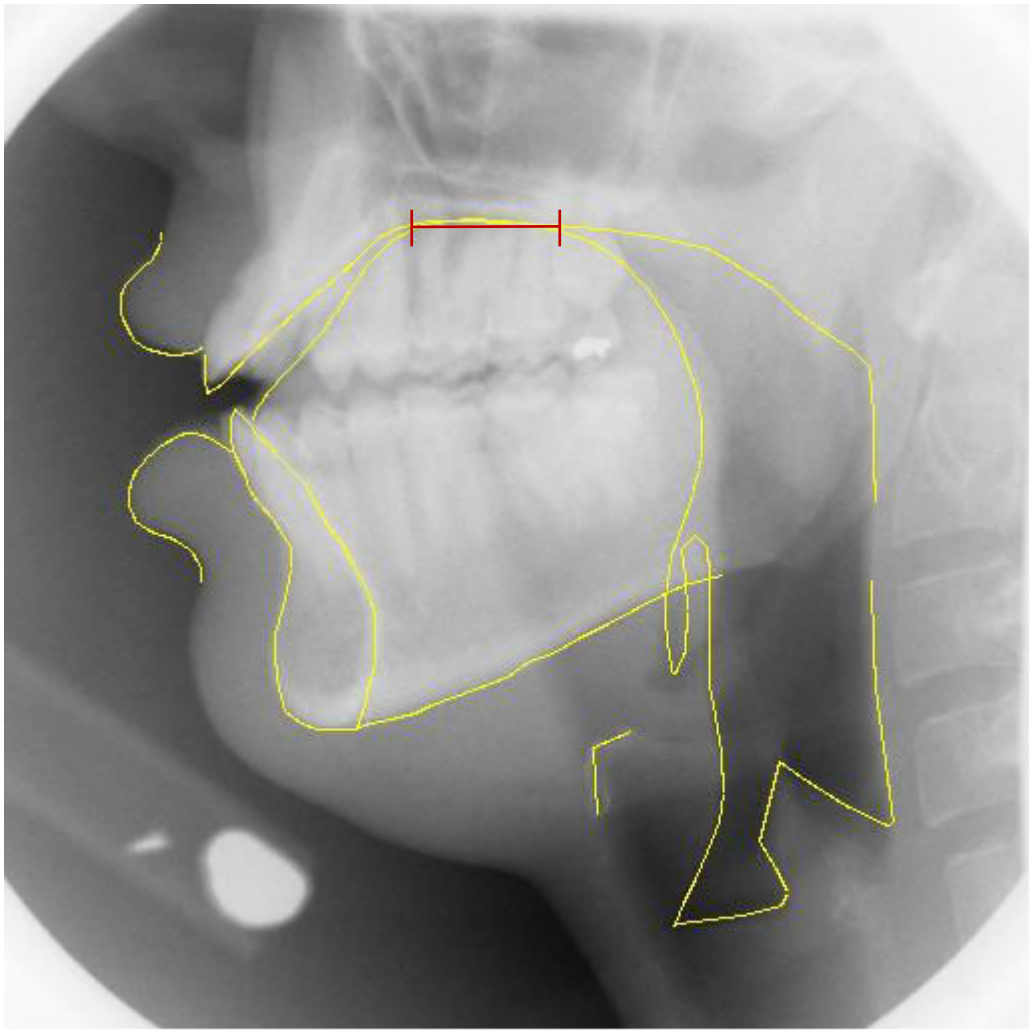


Figure 236 : Étendue de contact (Kh : /gg/=20mm)

En position initiale non absolue V#CV Locuteurs F et Kh

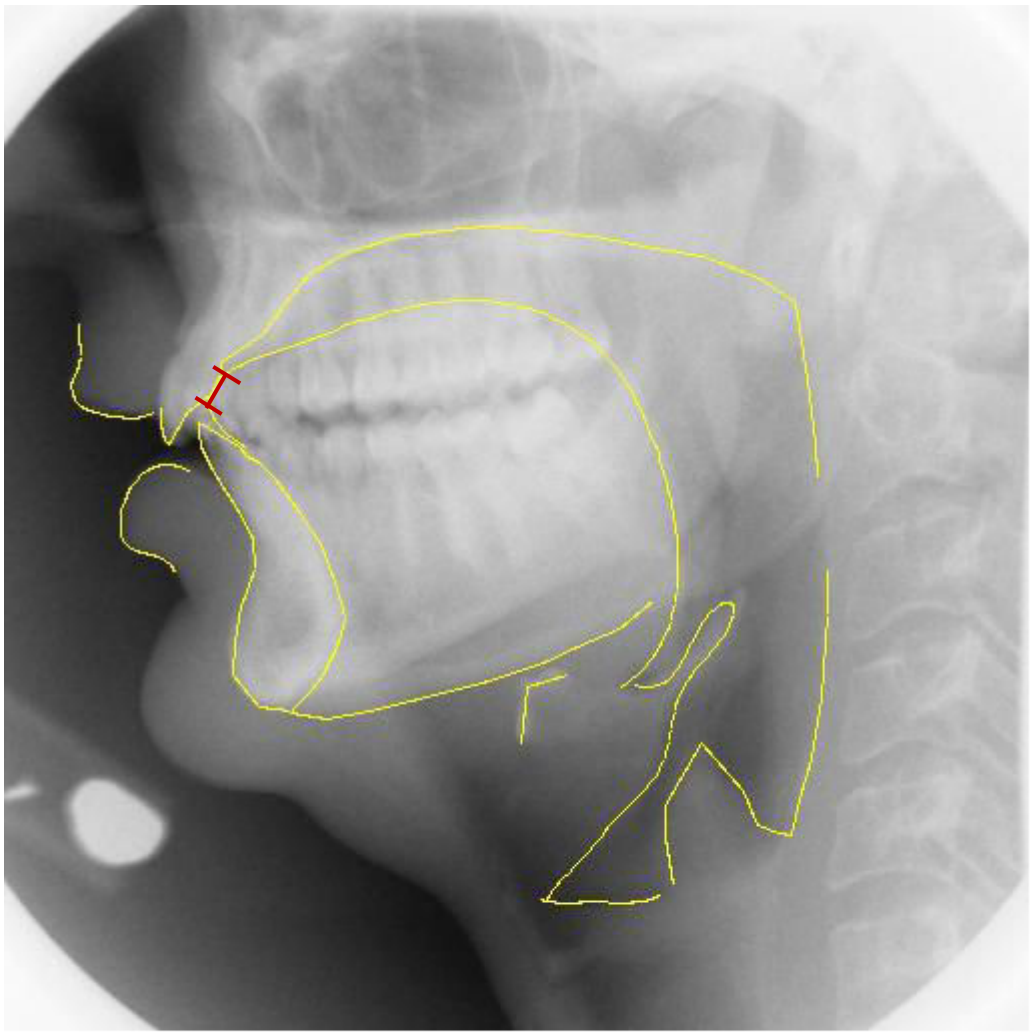


Figure 237 : Étendue de contact (F= /t/=5mm)

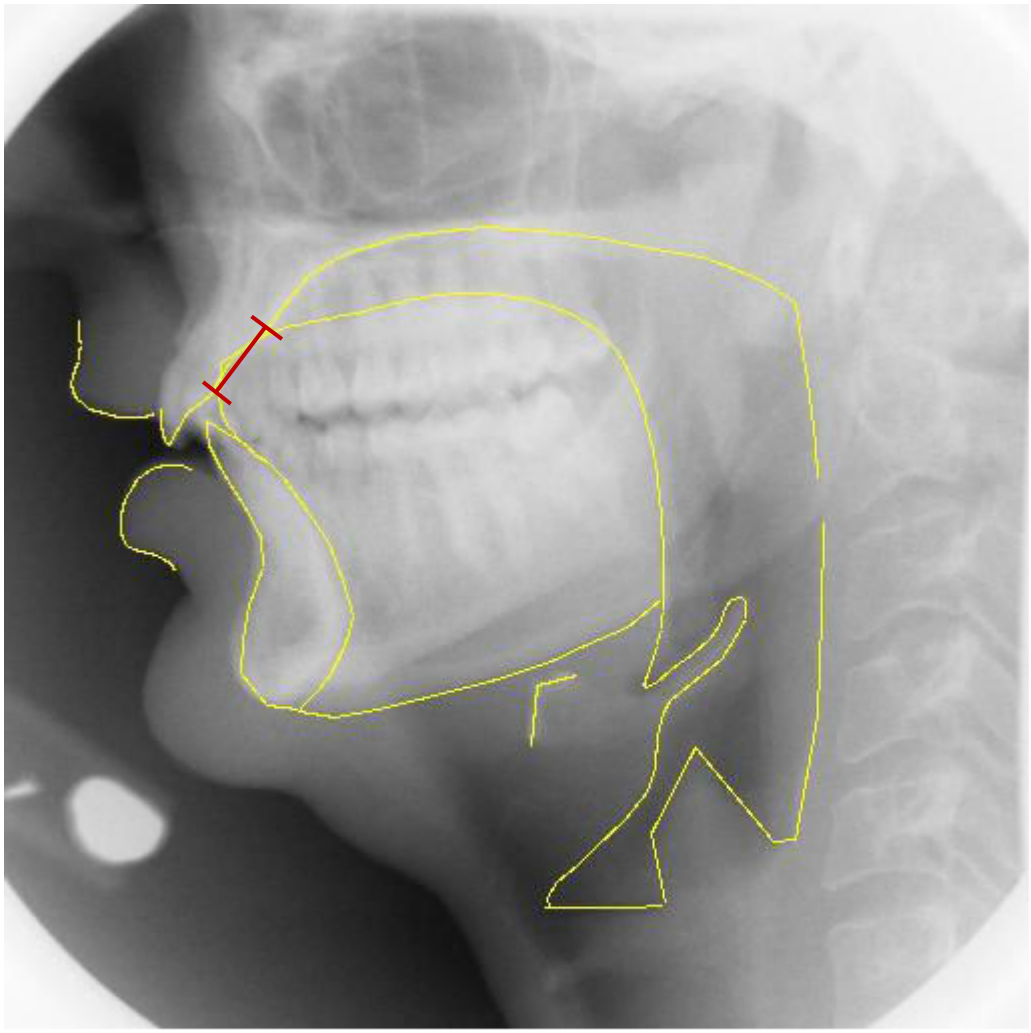


Figure 238 : Étendue de contact (Kh : /tt/=9mm

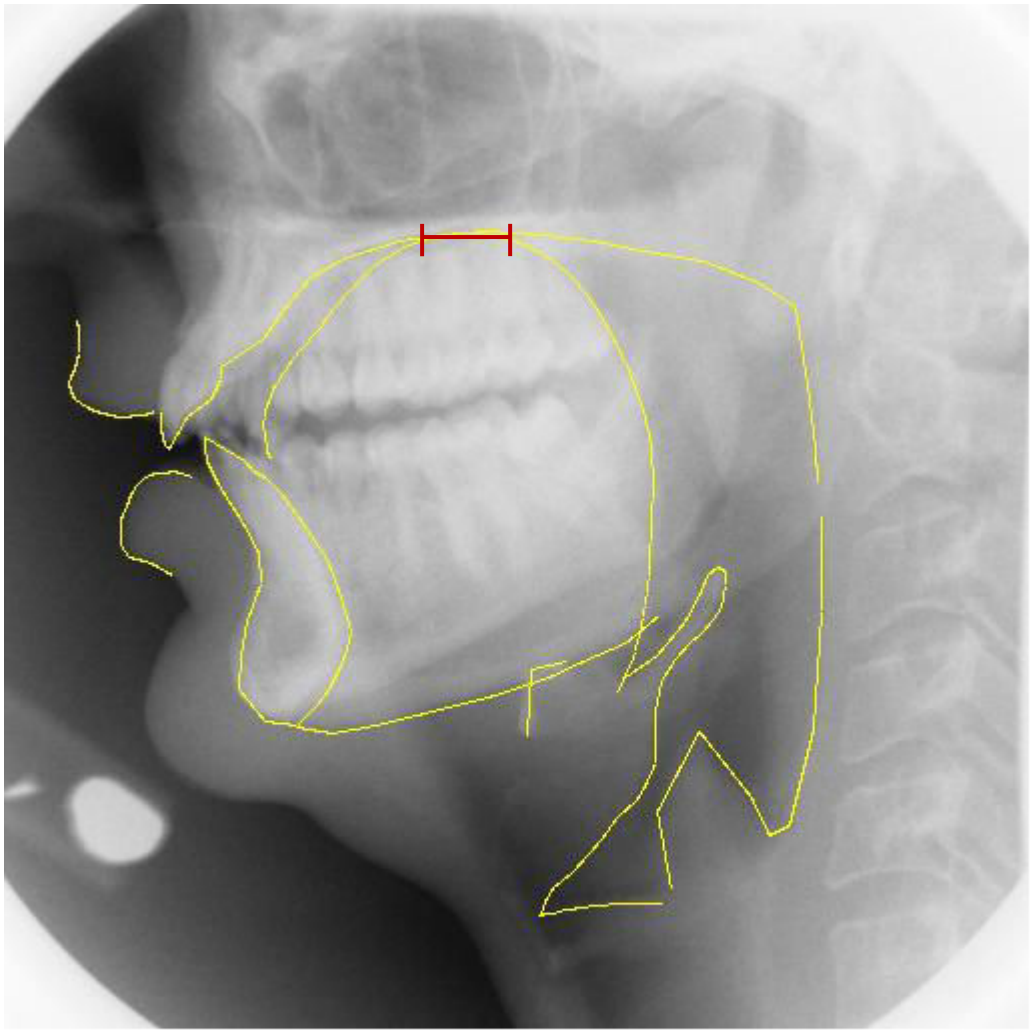


Figure 239 : Étendue de contact (F : /k/=12mm)

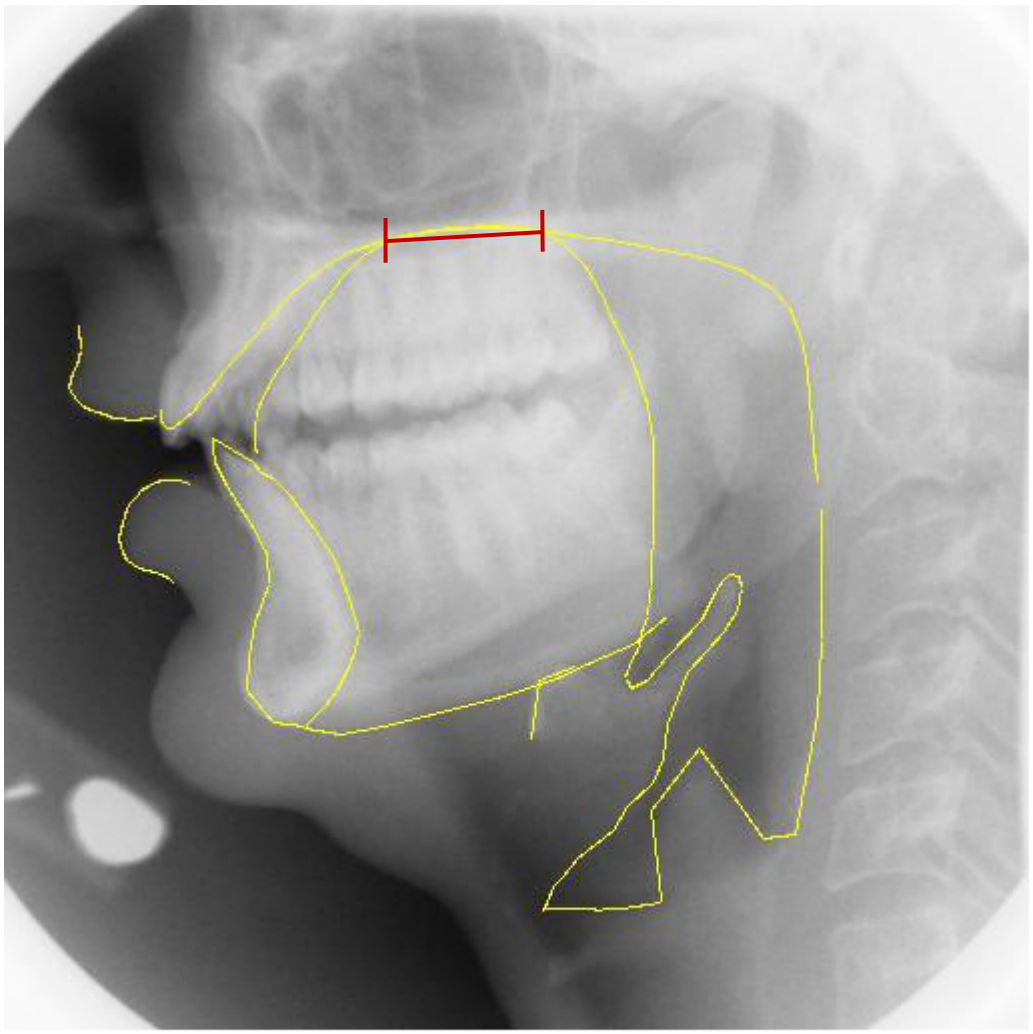


Figure 240 : Étendue de contact (F : /kk/=21mm)

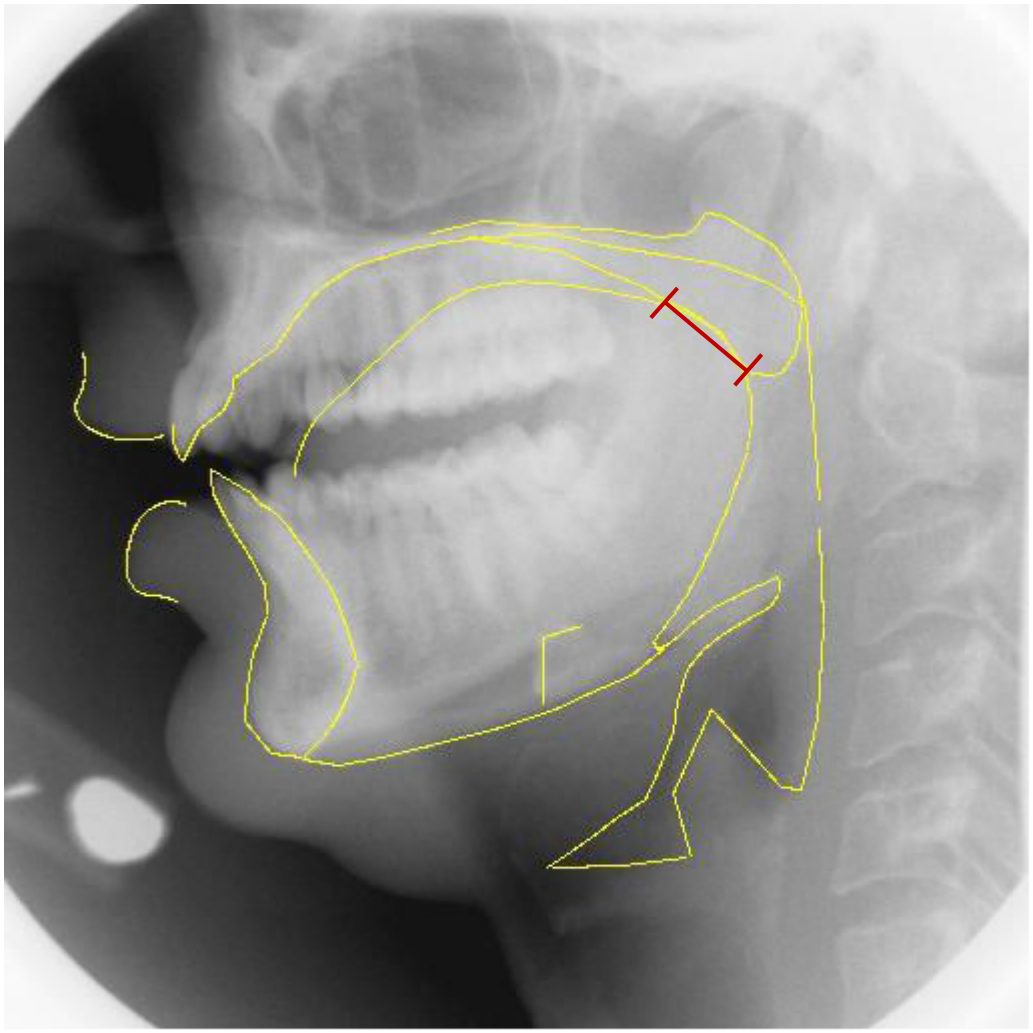


Figure 241 : Étendue de contact (F : /q/=14mm)

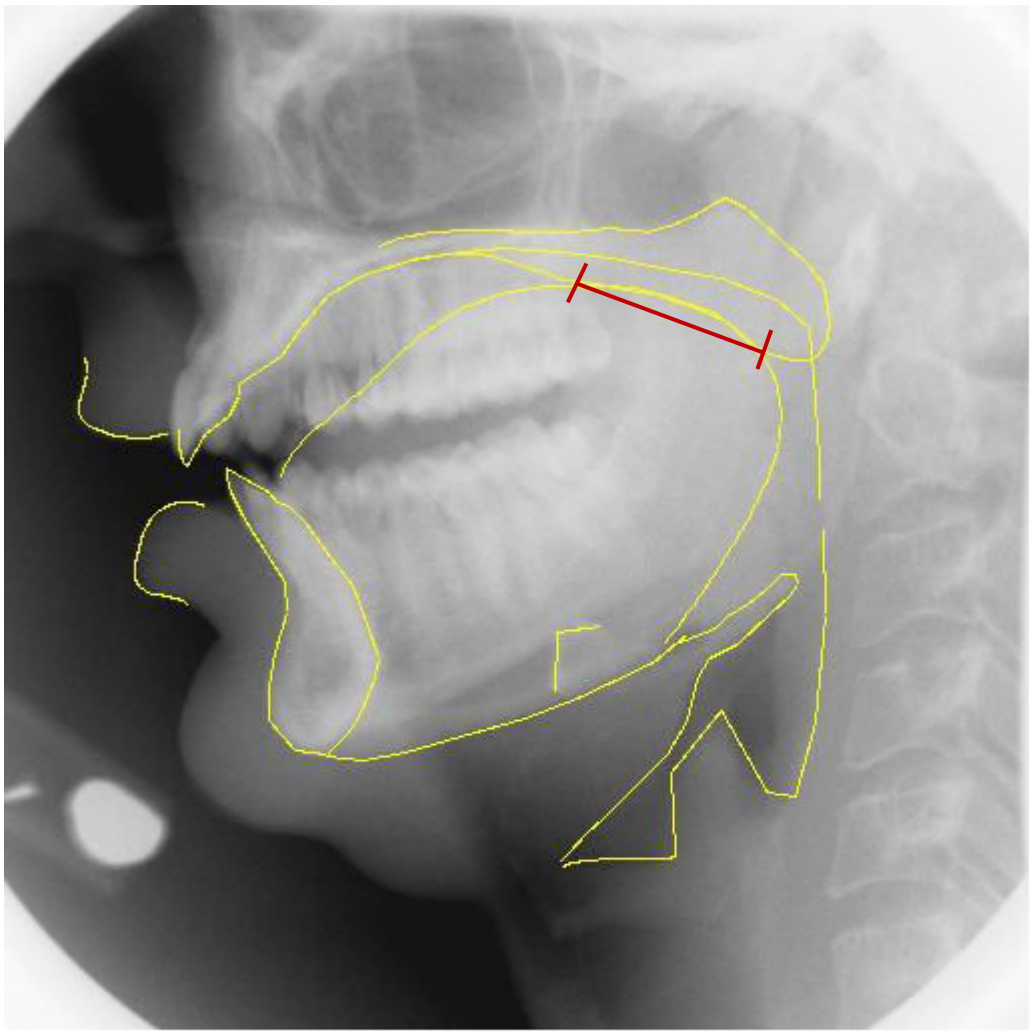


Figure 242 : Étendue de contact (F : /qq/=26mm)

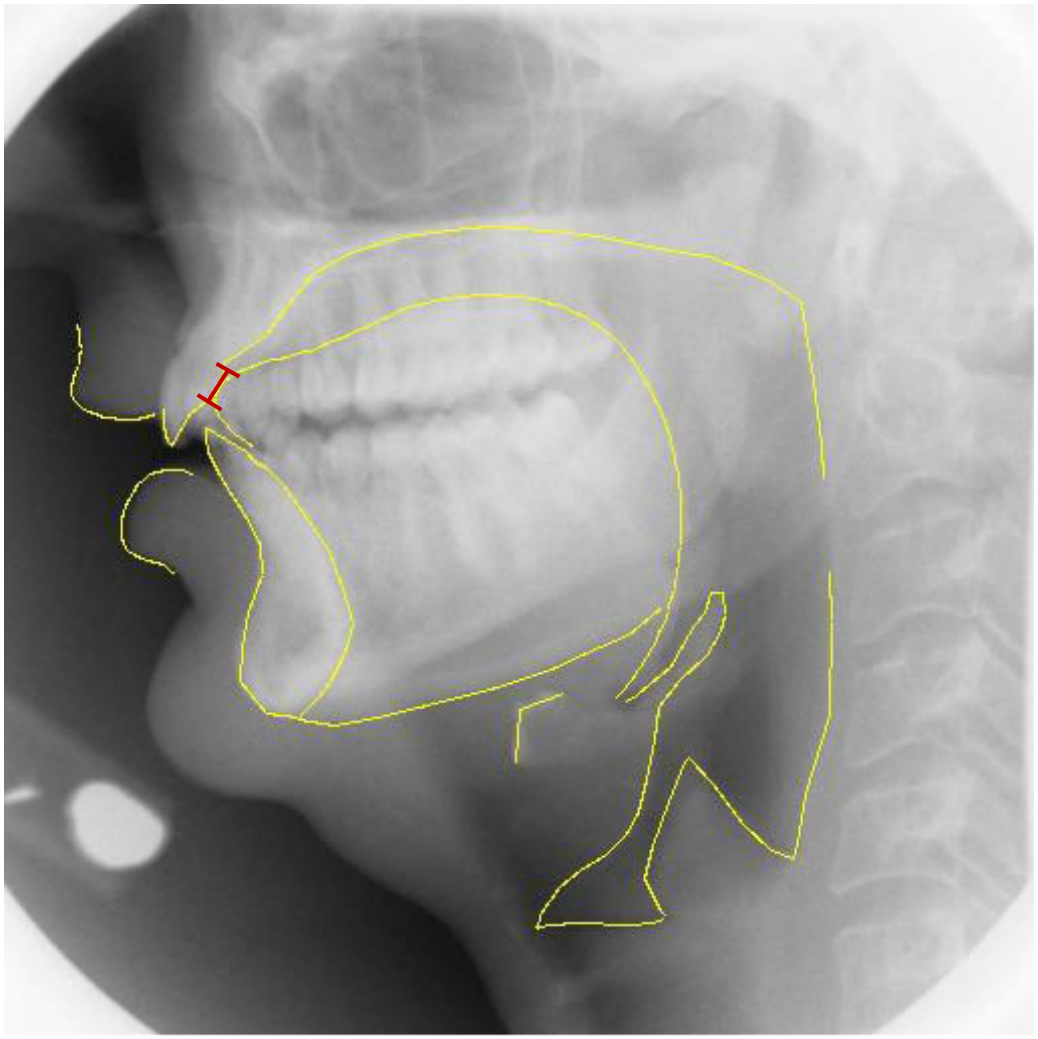


Figure 243 : Étendue de contact (F : /d/=5mm)

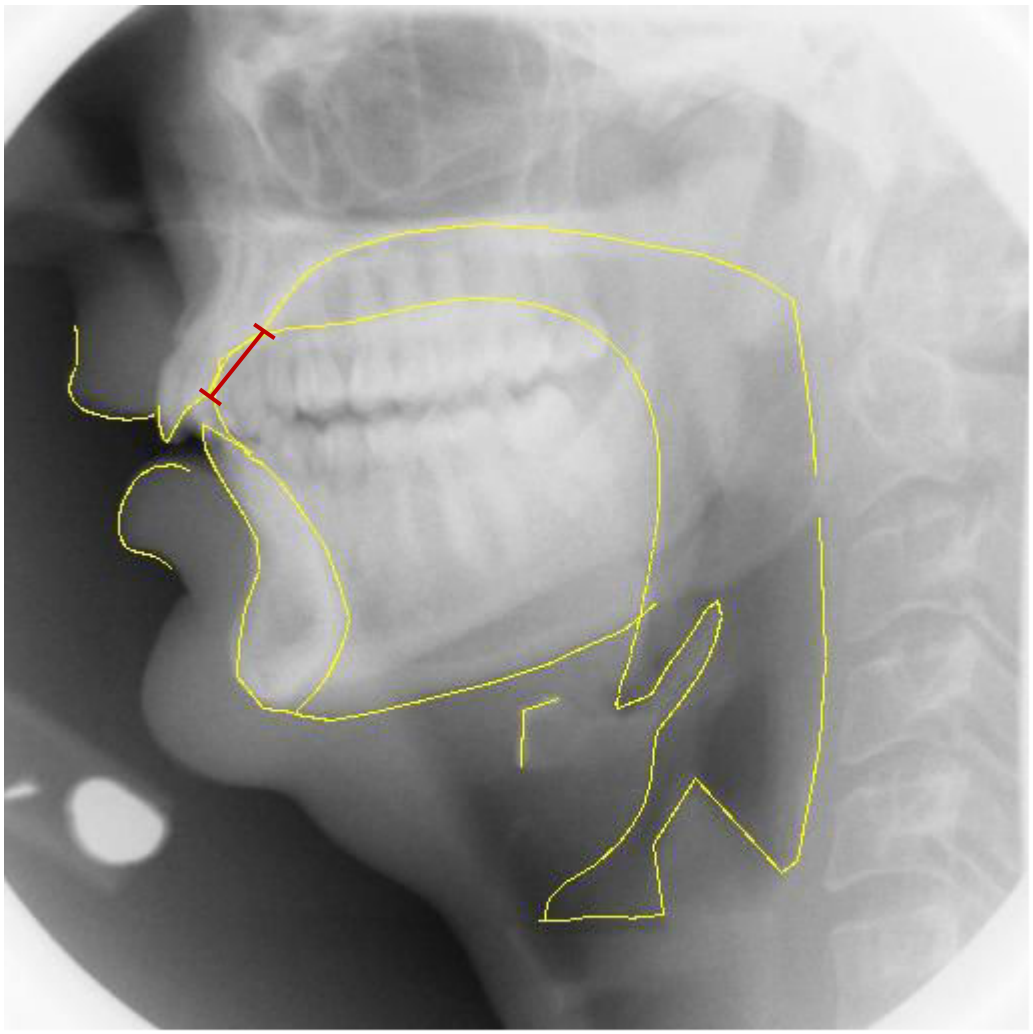


Figure 244 : Étendue de contact (F : /dd/=11mm)

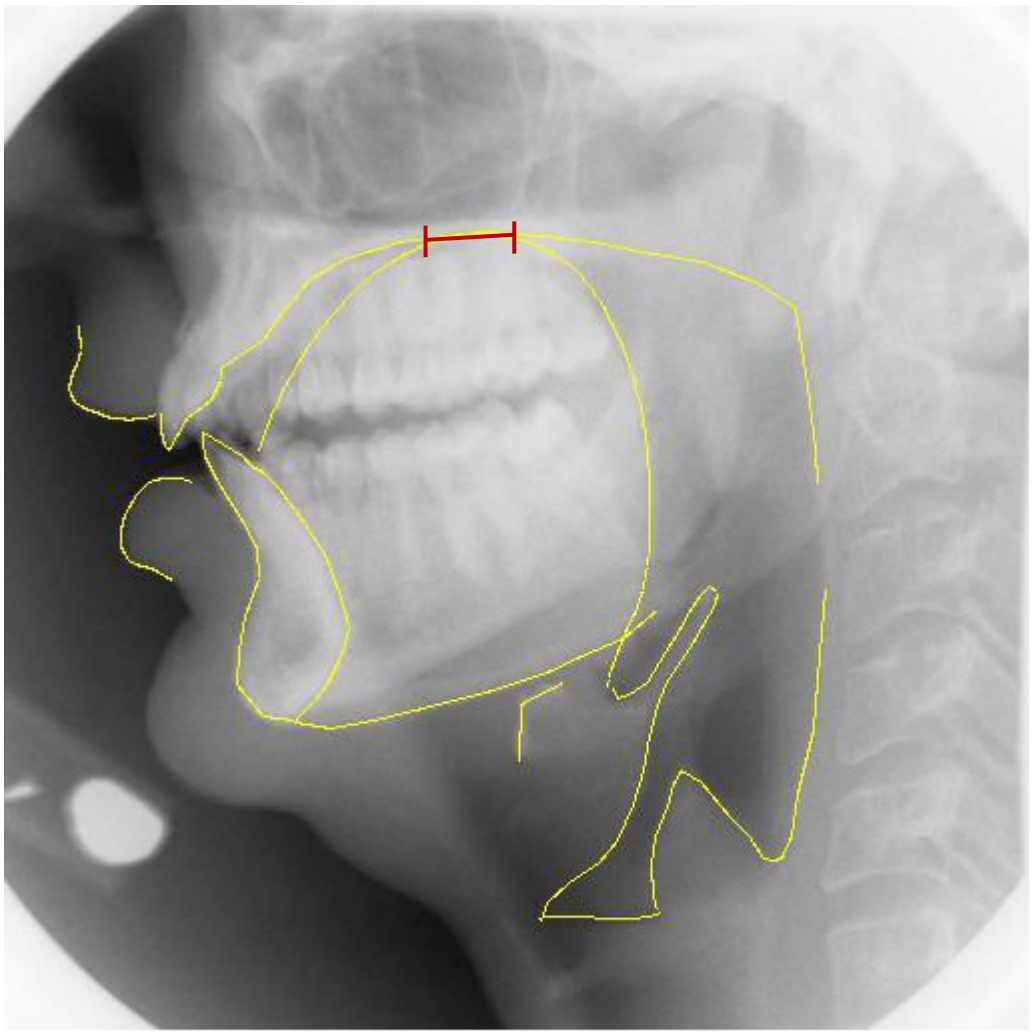


Figure 245 : Étendue de contact (F : /g/=12mm

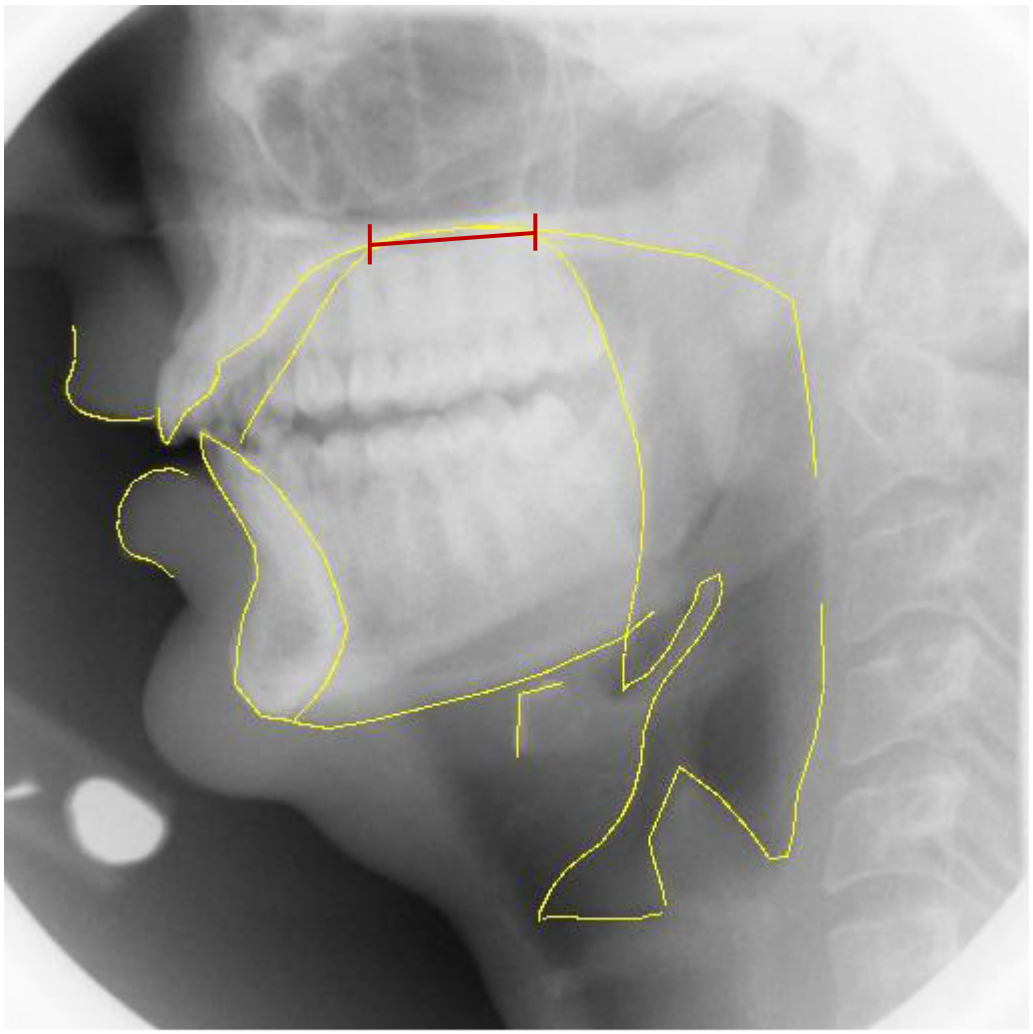


Figure 246 : Étendue de contact (F : /gg/=22mm)

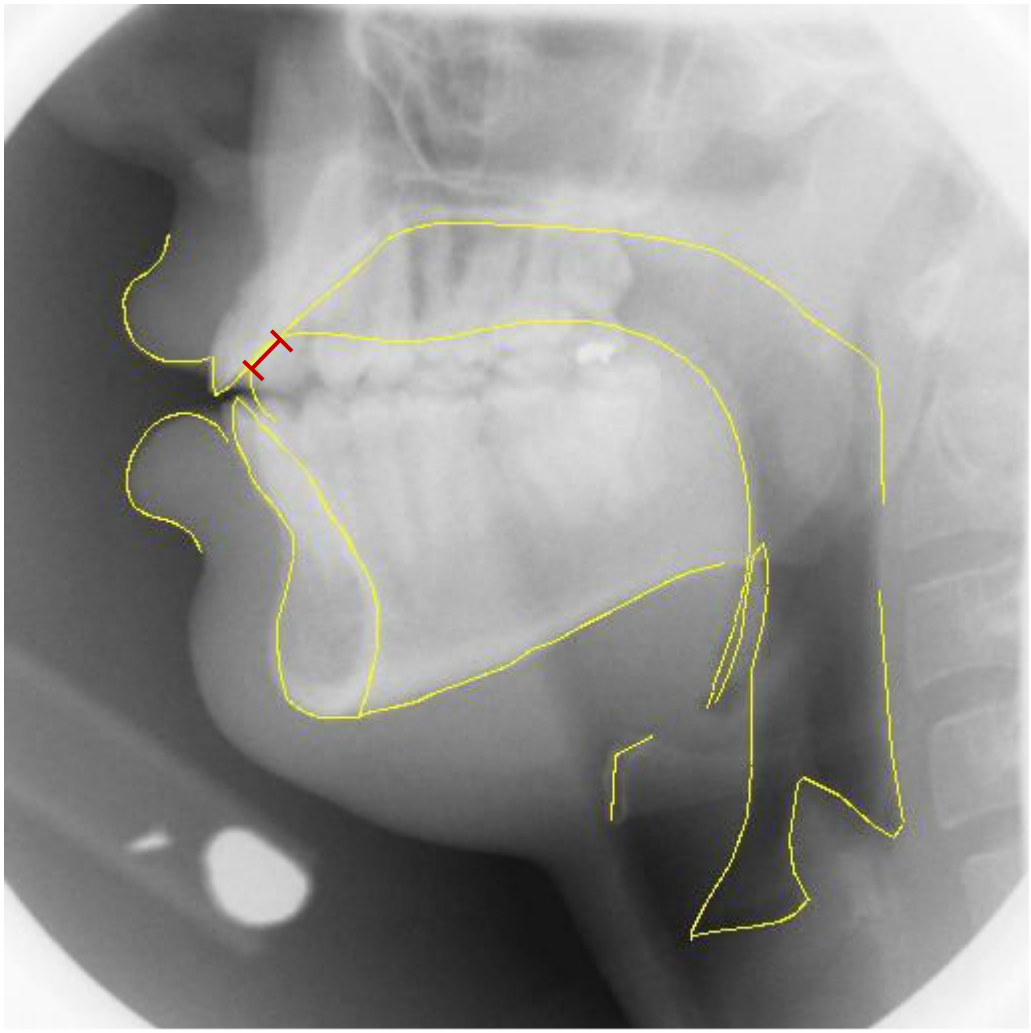


Figure 247 : Étendue de contact (Kh : /t/=6mm)

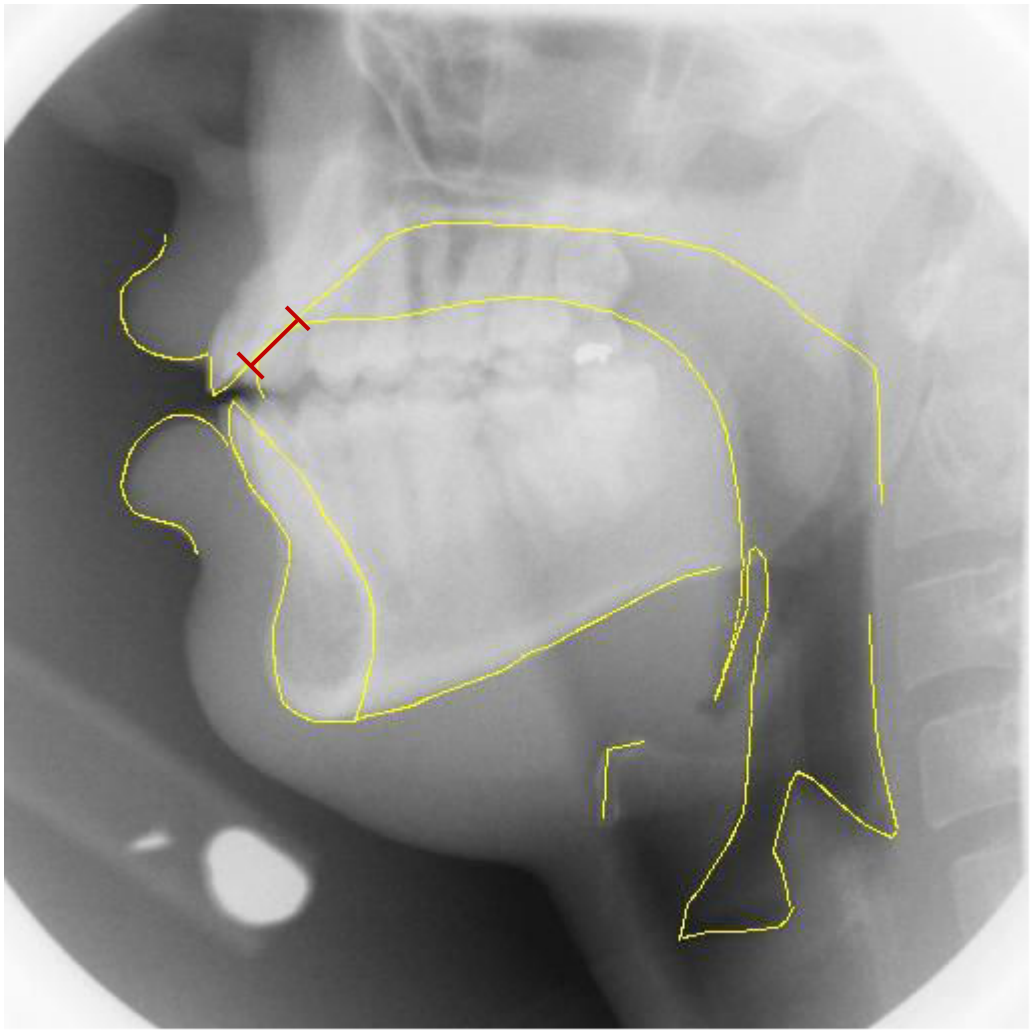


Figure 248 : Étendue de contact (Kh : /tt/=9mm)

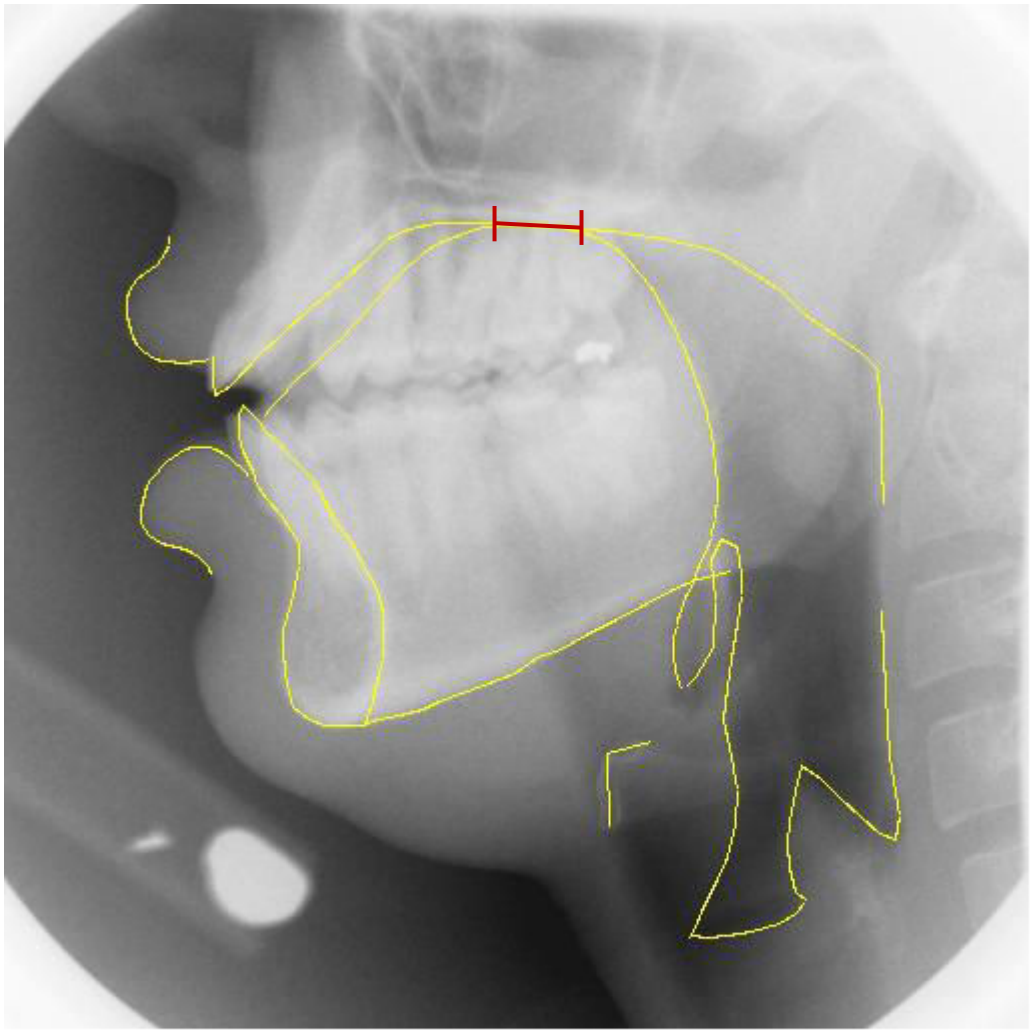


Figure 249 : Étendue de contact (Kh : /k/=12mm

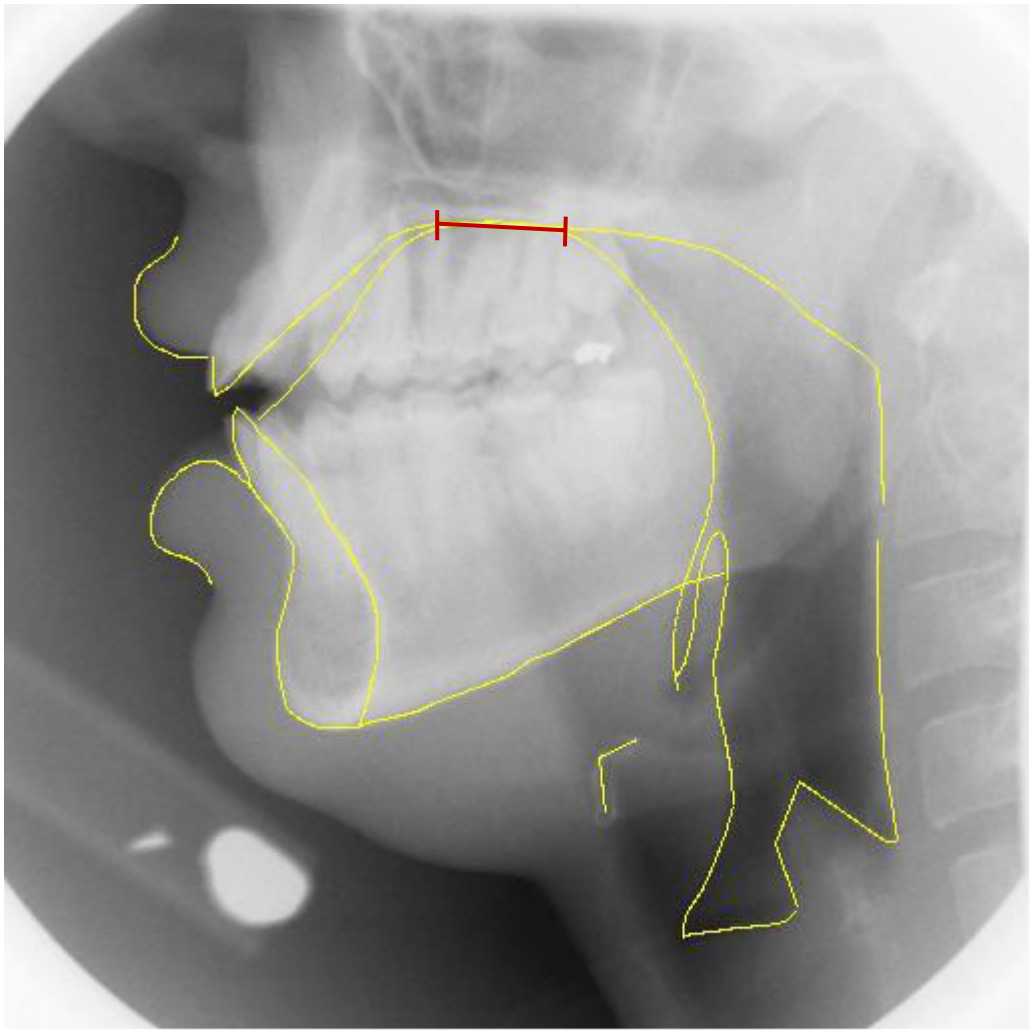


Figure 250 : Étendue de contact (Kh : /kk/= 17mm)

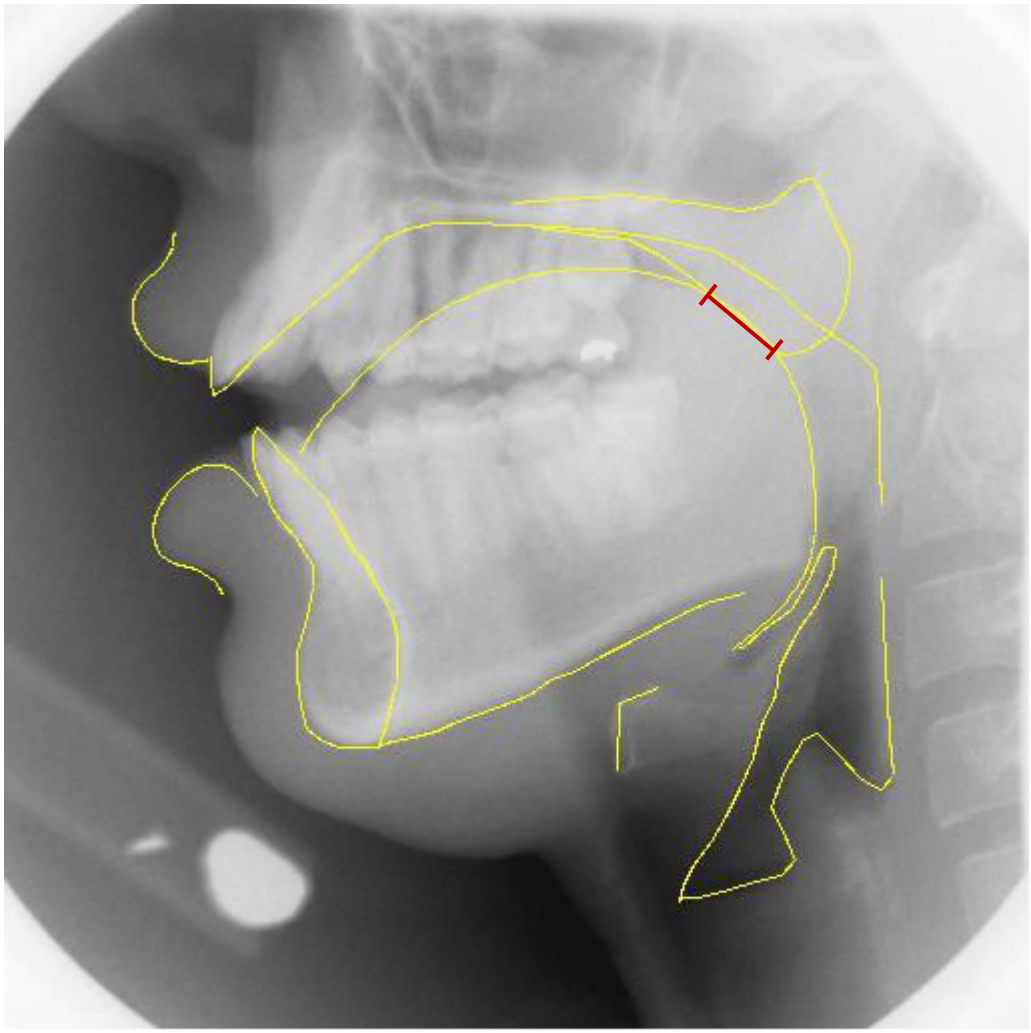


Figure 251 : Étendue de contact (Kh : /q/=12)

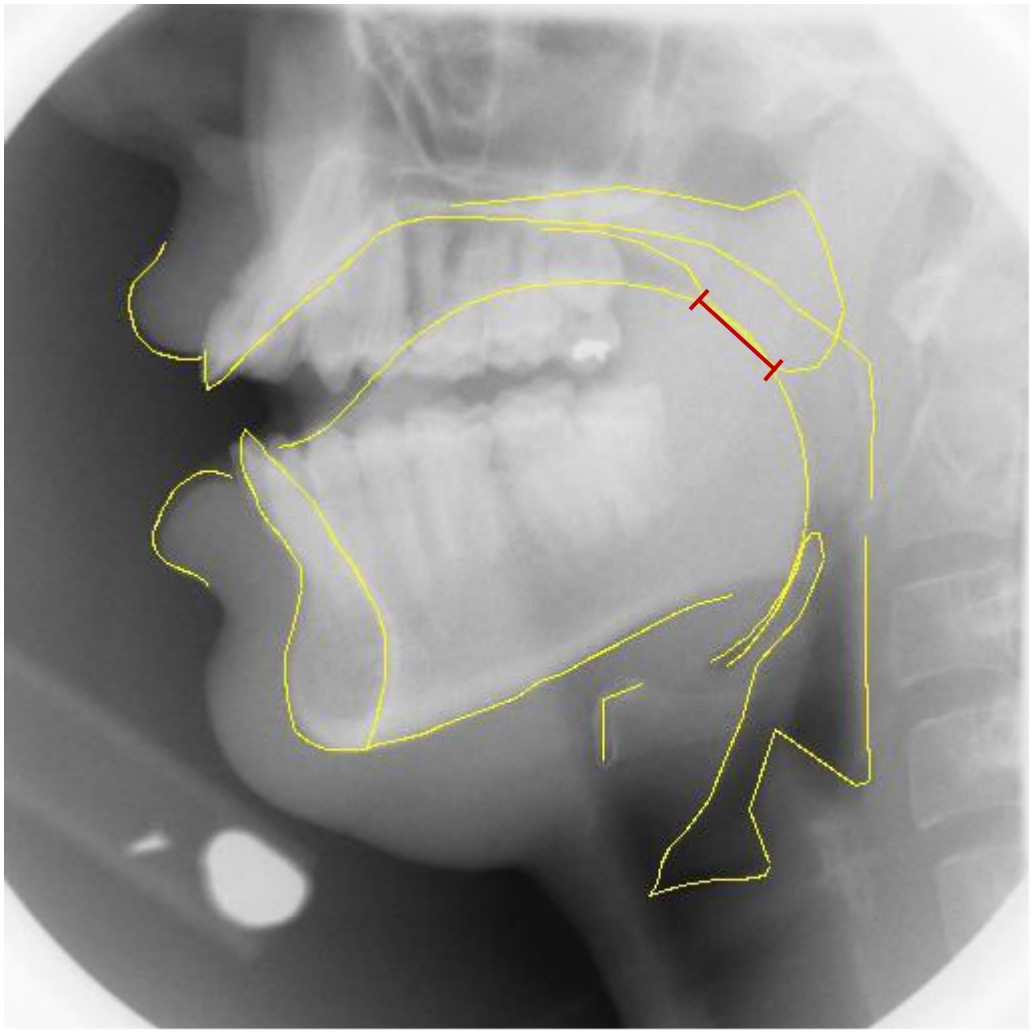


Figure 252 : Étendue de contact (Kh : /qq/=14mm)

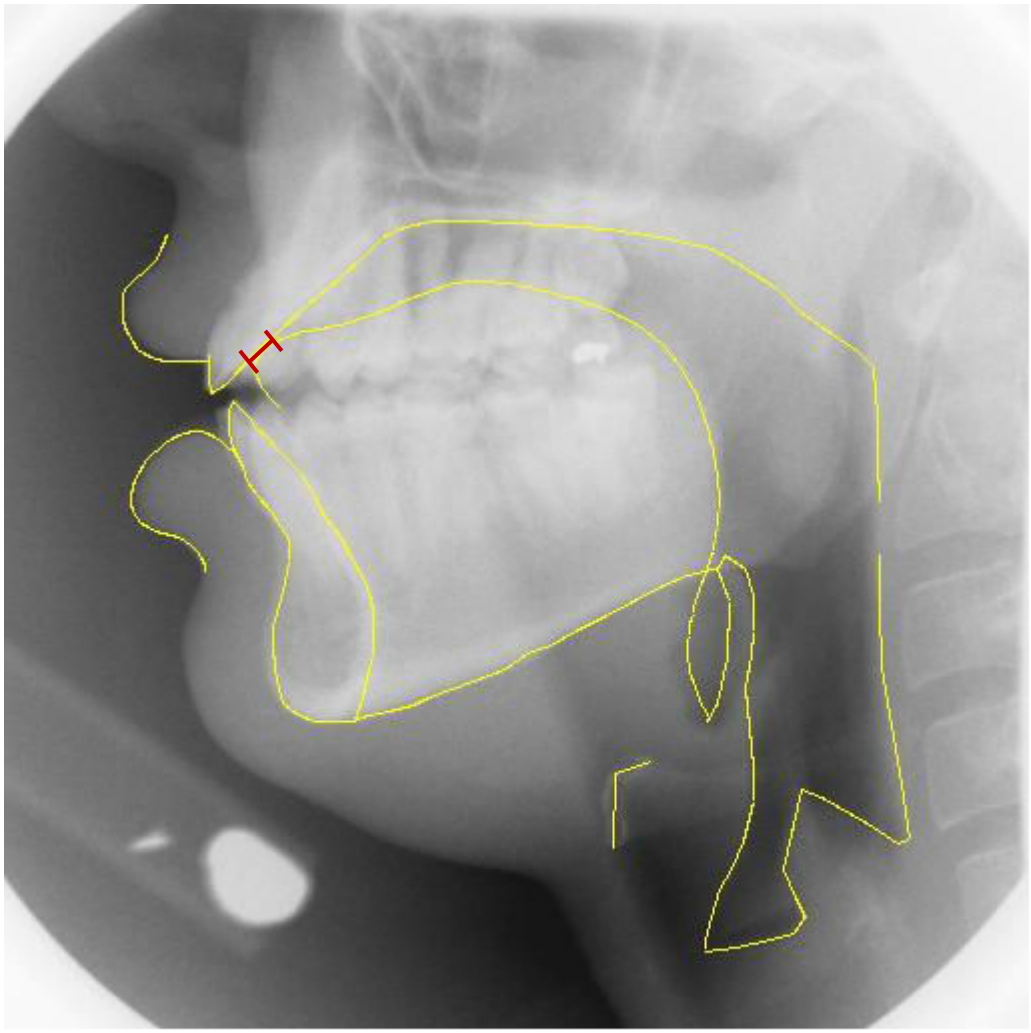


Figure 253 : Étendue de contact (Kh : /d/=5 mm)

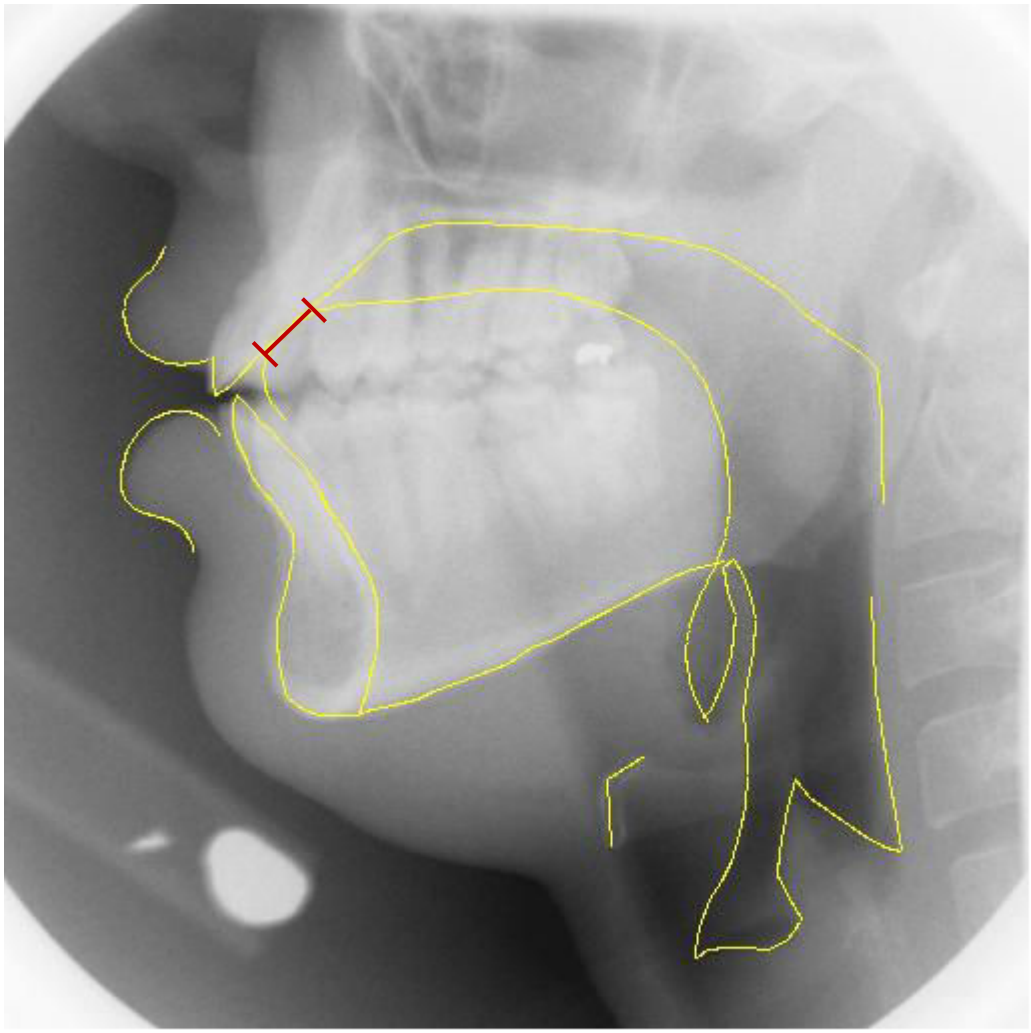


Figure 254 : Étendue de contact (Kh : /dd/=9mm)

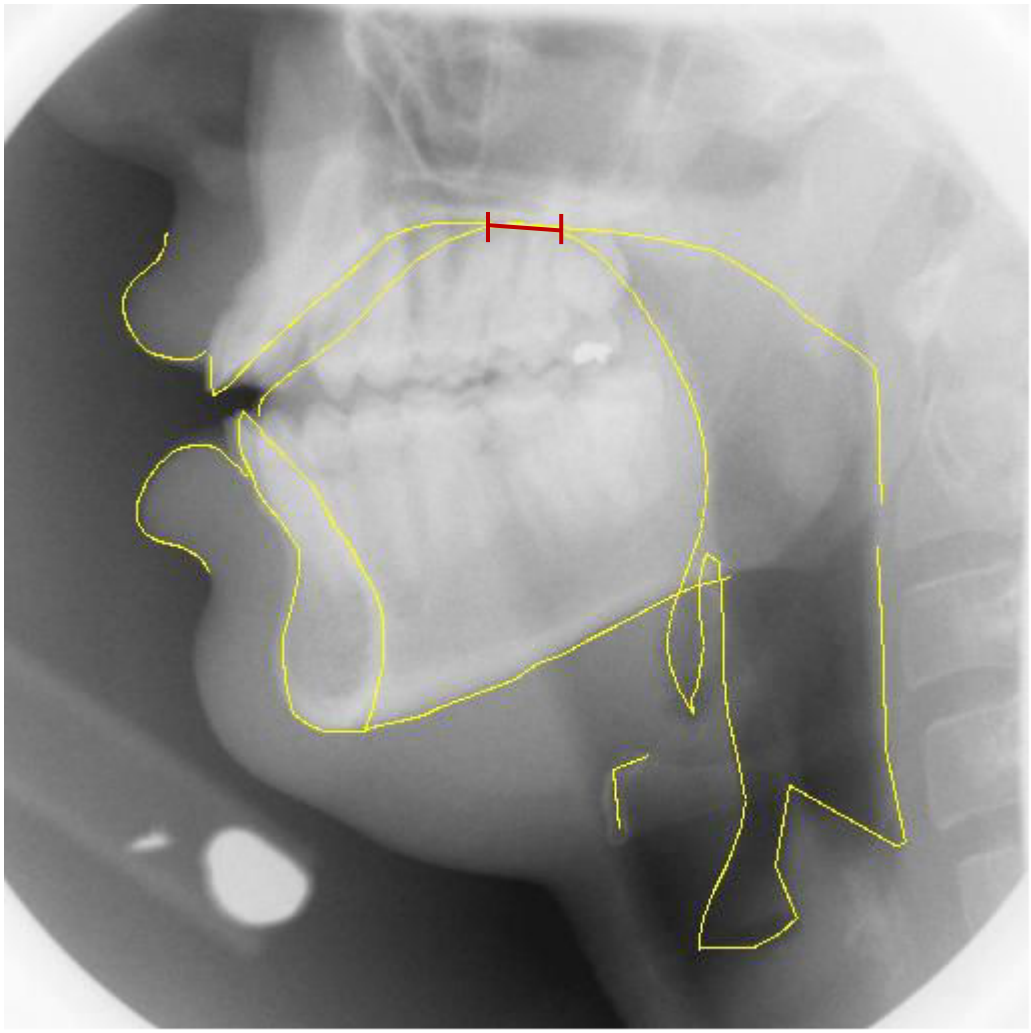


Figure 255 : Étendue de contact (Kh : /g/=10mm)

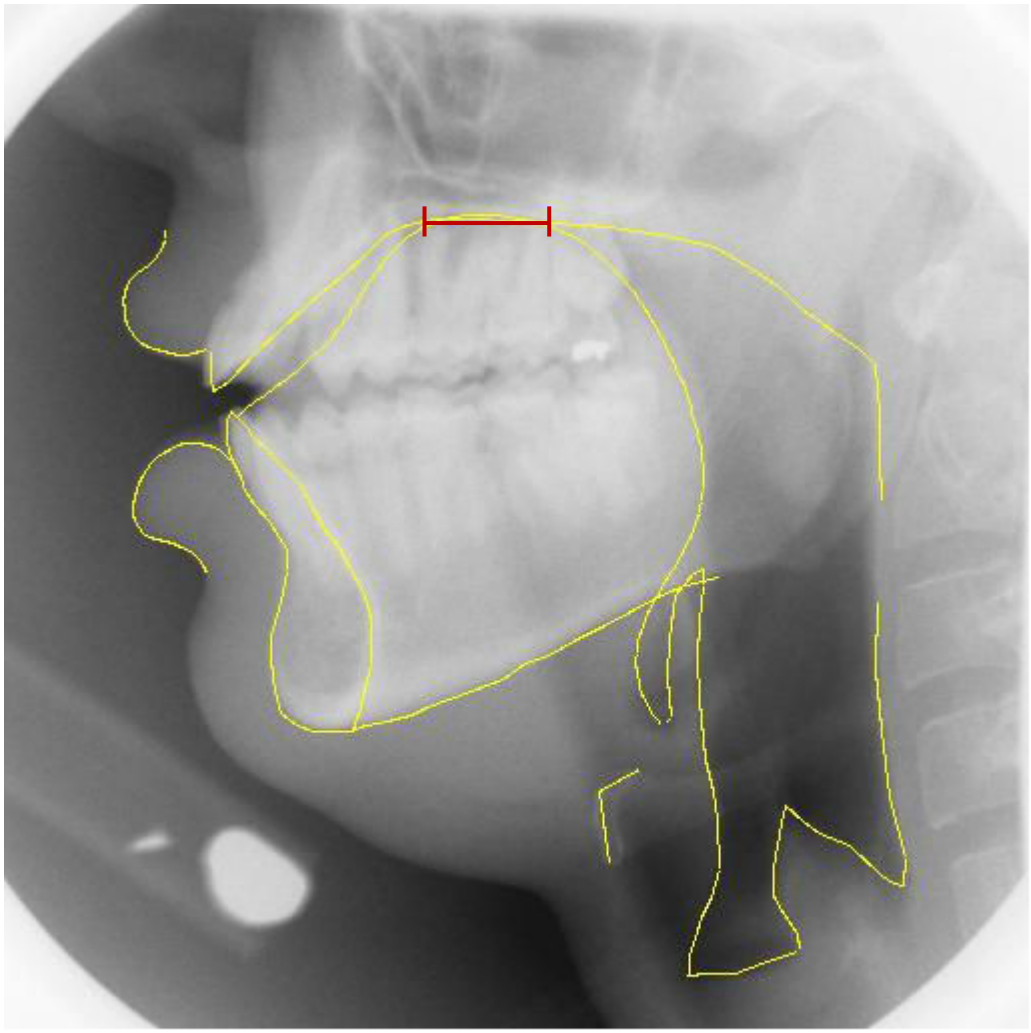


Figure 256 : Étendue de contact (Kh : /gg/=17mm)

En position finale Non absolue VC#V Locuteurs F et Kh

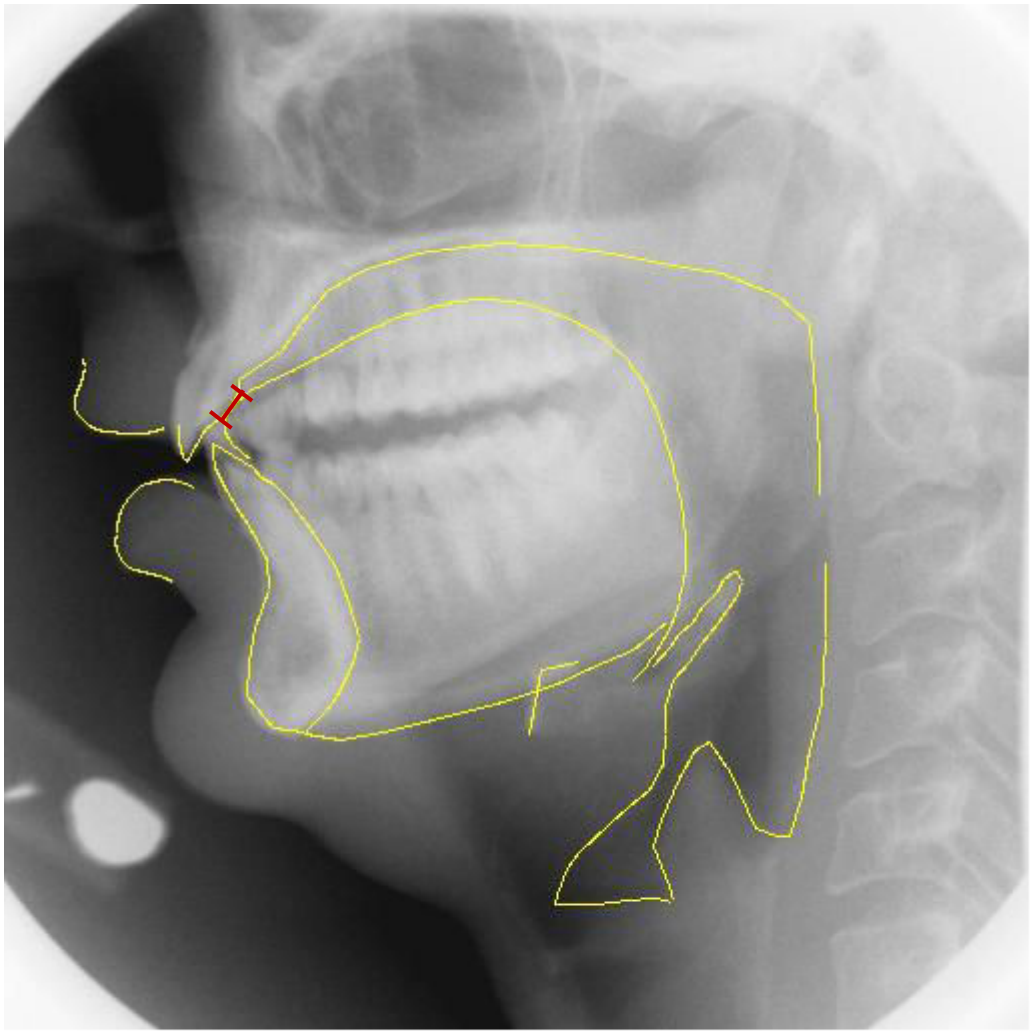


Figure 257 : Étendue de contact (F : /t/=5 mm)

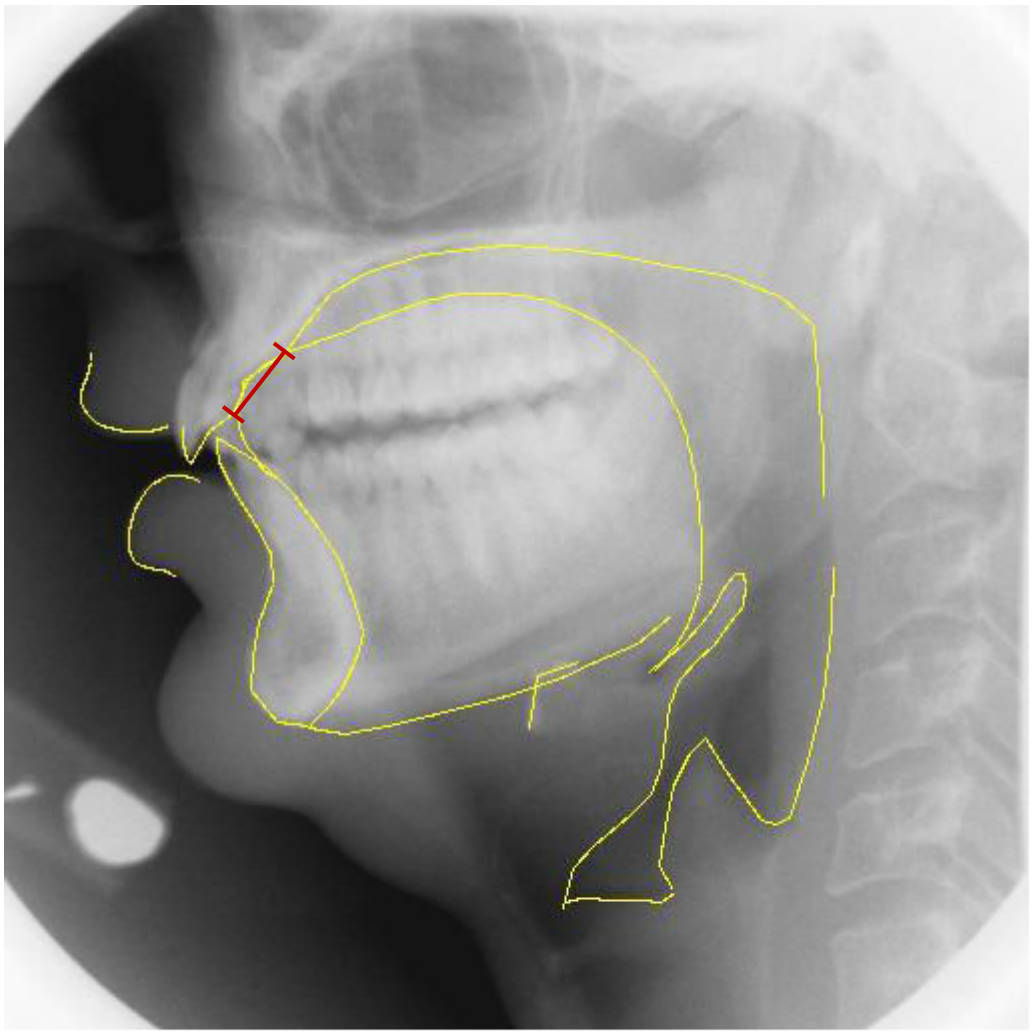


Figure 258 : Étendue de contact (F : /tt/= 11mm)

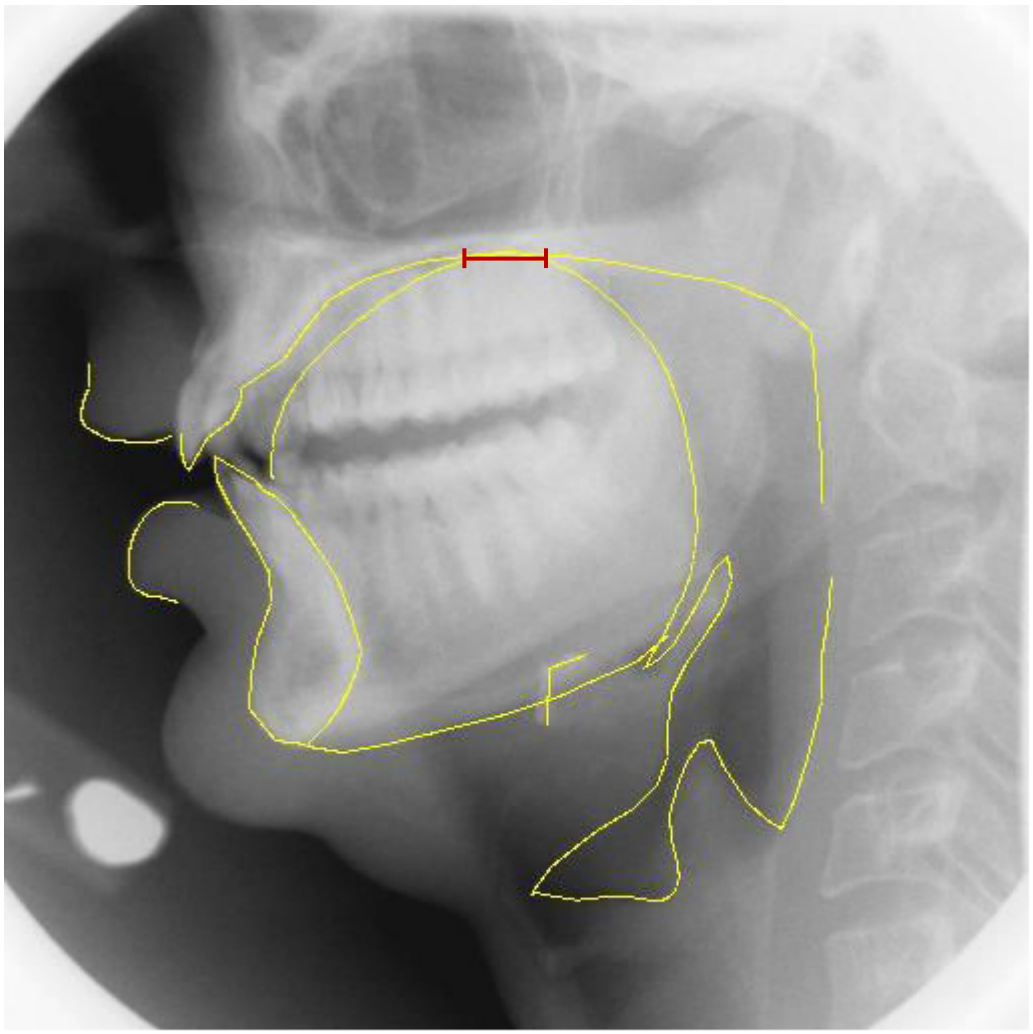


Figure 259 : Étendue de contact (F : /k/= 11mm)

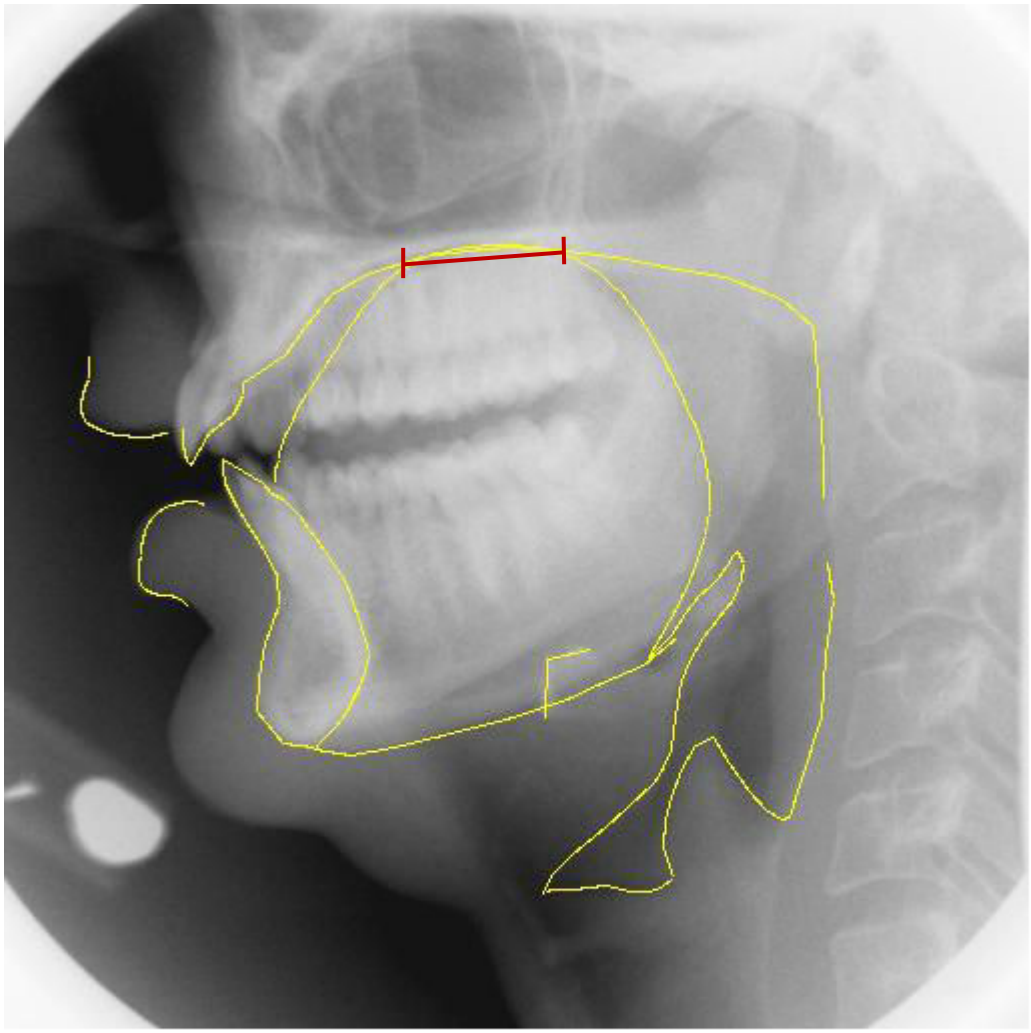


Figure 260 : Étendue de contact (F : /kk/= 22mm)

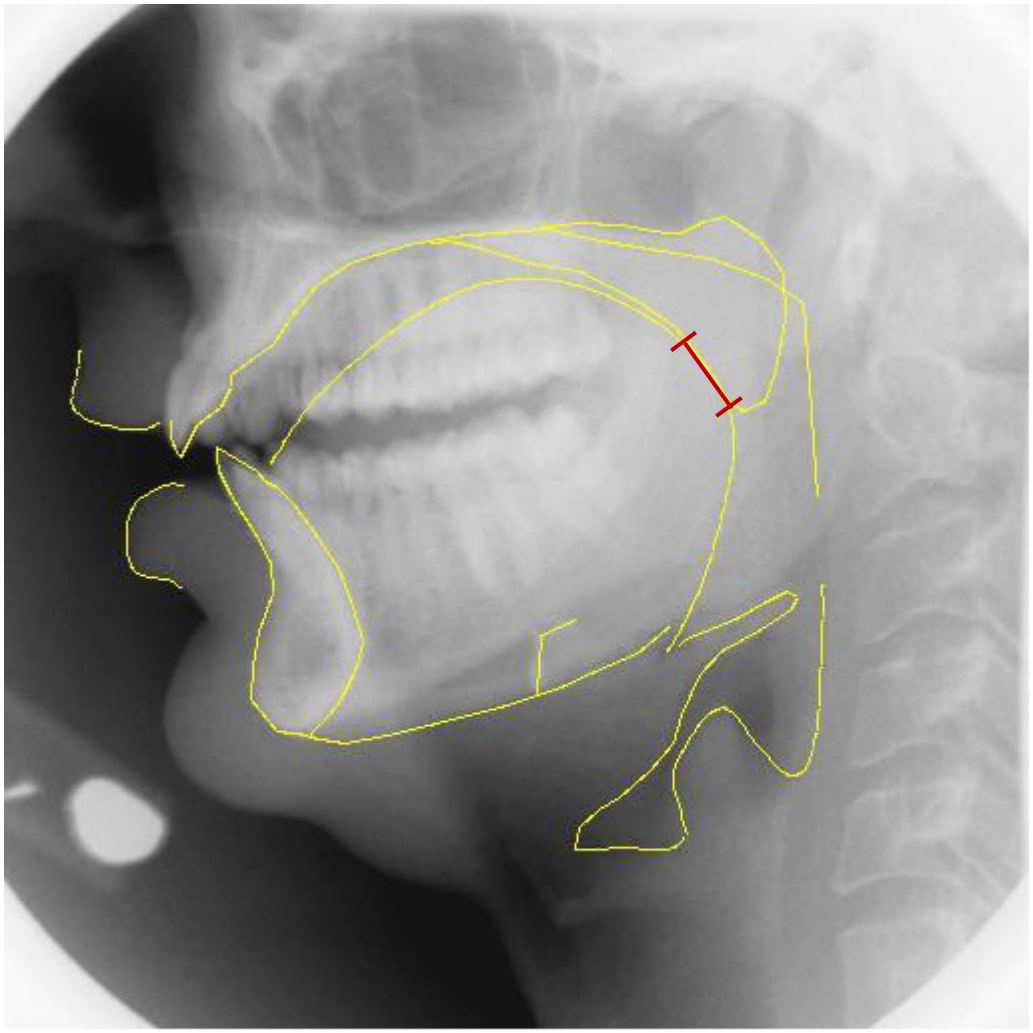


Figure 261 : Étendue de contact (F : /q/= 11)

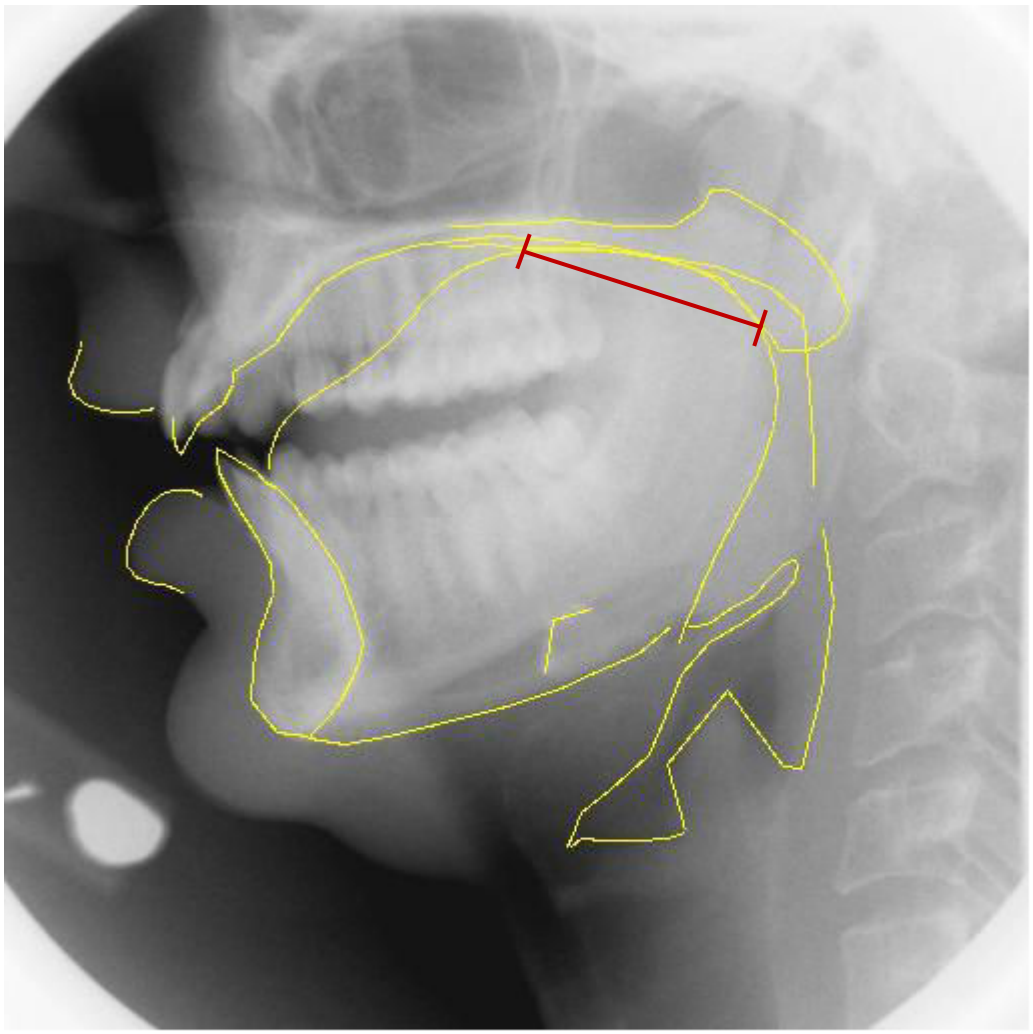


Figure 262 : Étendue de contact (F : /qq/= 33mm)

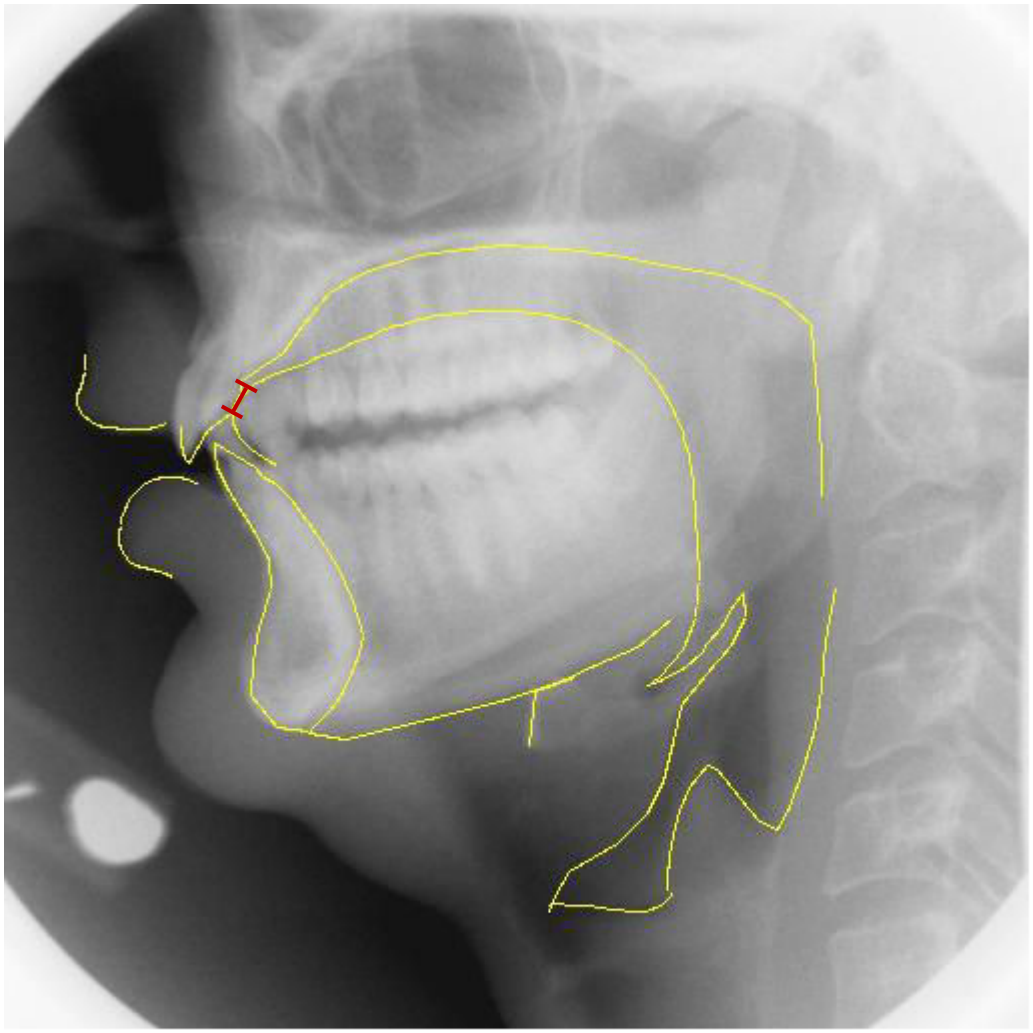


Figure 263 : Étendue de contact (F : /d/= 4 mm)

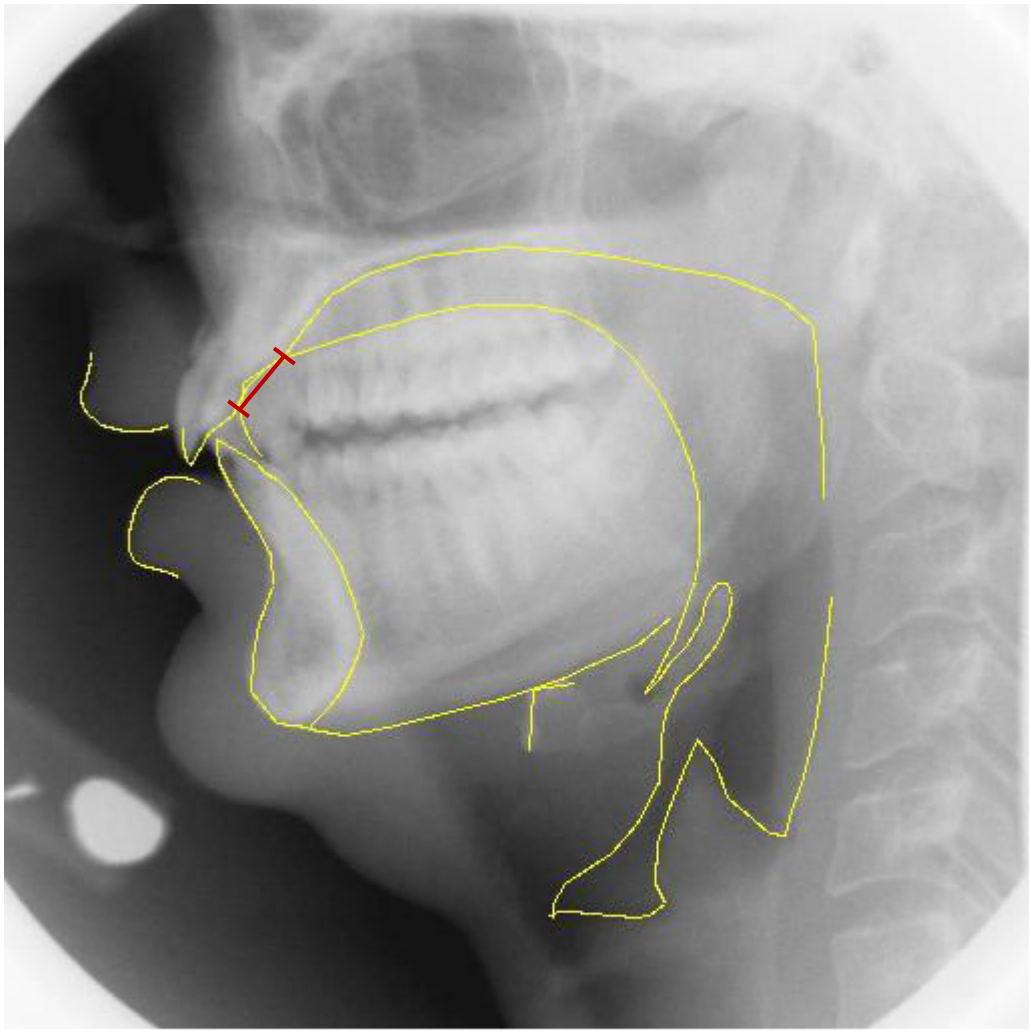


Figure 264 : Étendue de contact (F : /dd/= 10 mm)

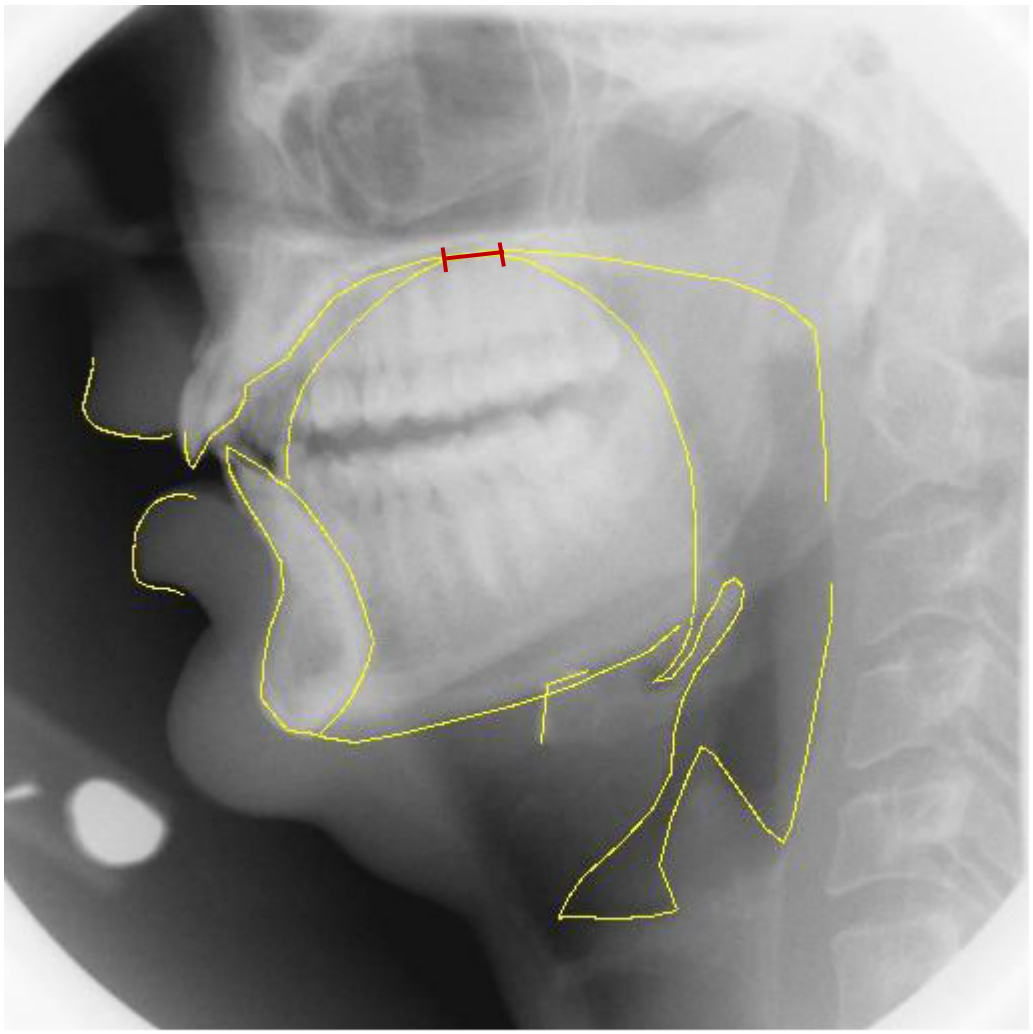


Figure 265 : Étendue de contact (F : /g/= 9 mm)

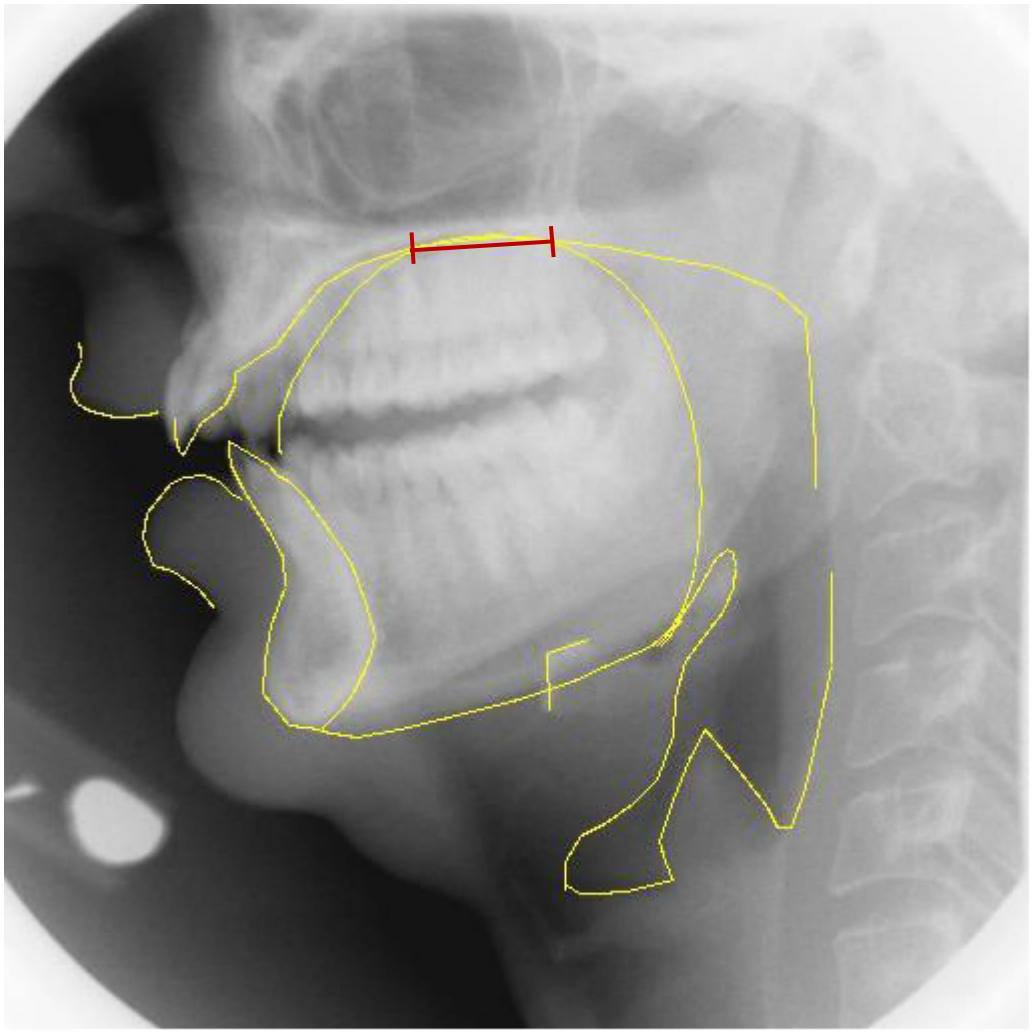


Figure 266 : Étendue de contact (F : /gg/= 20mm)

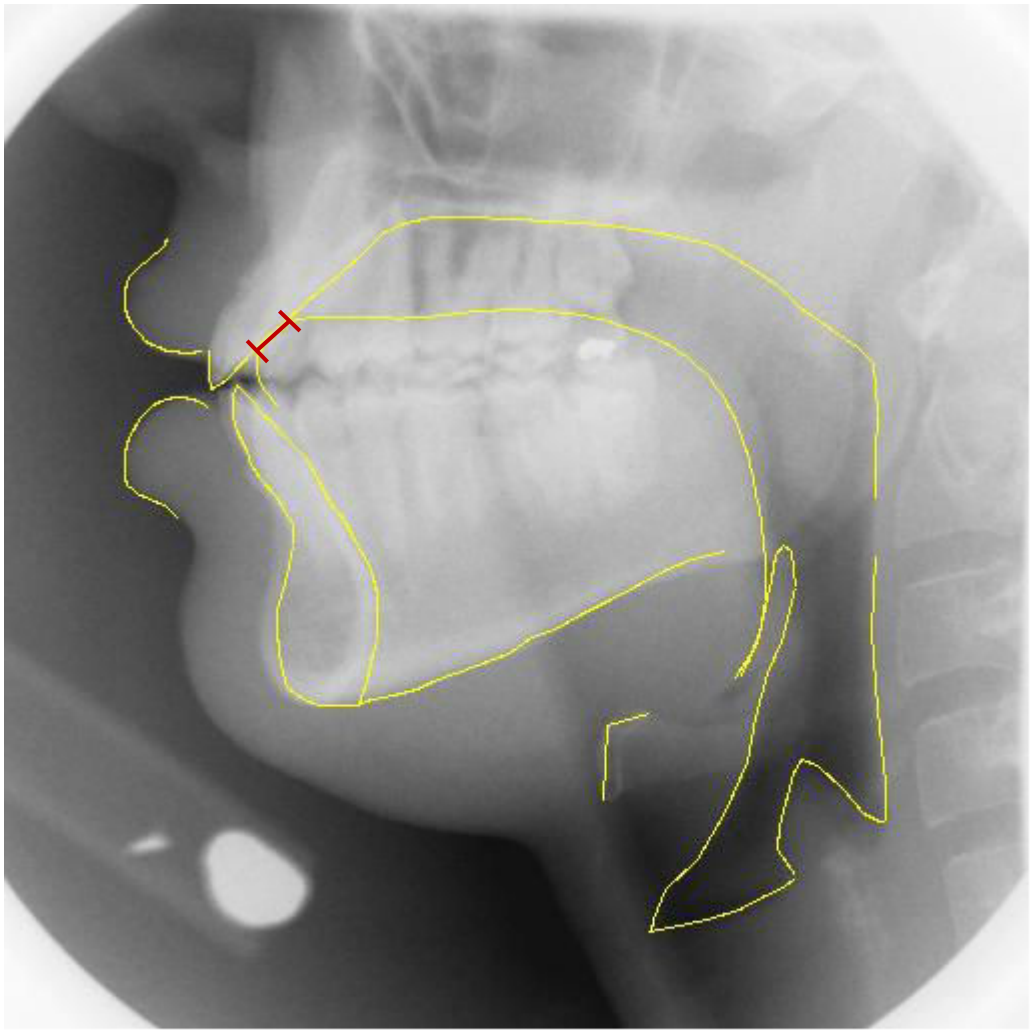


Figure 267 : Étendue de contact (Kh : /t/= 6mm)

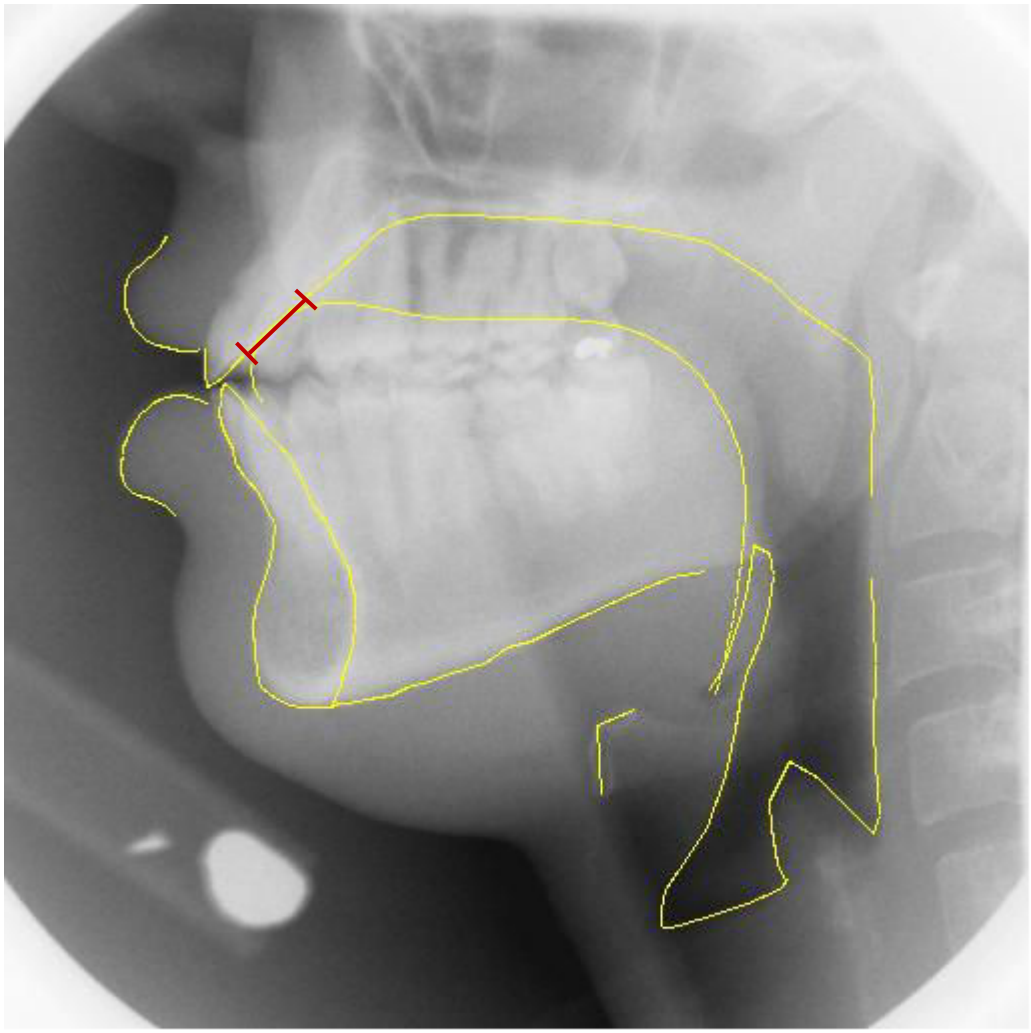


Figure 268 : Étendue de contact (Kh : /tt/= 11mm)

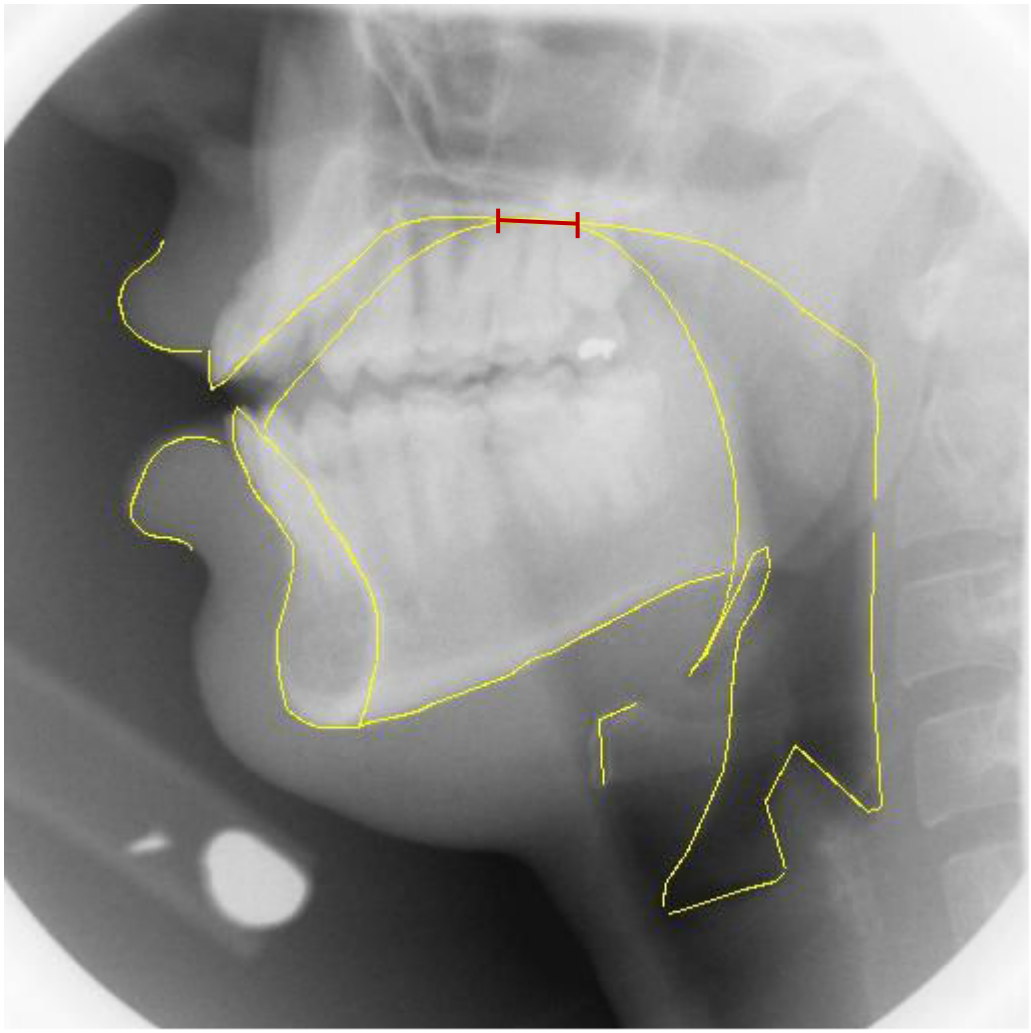


Figure 269 : Étendue de contact (Kh : /k/= 11mm)

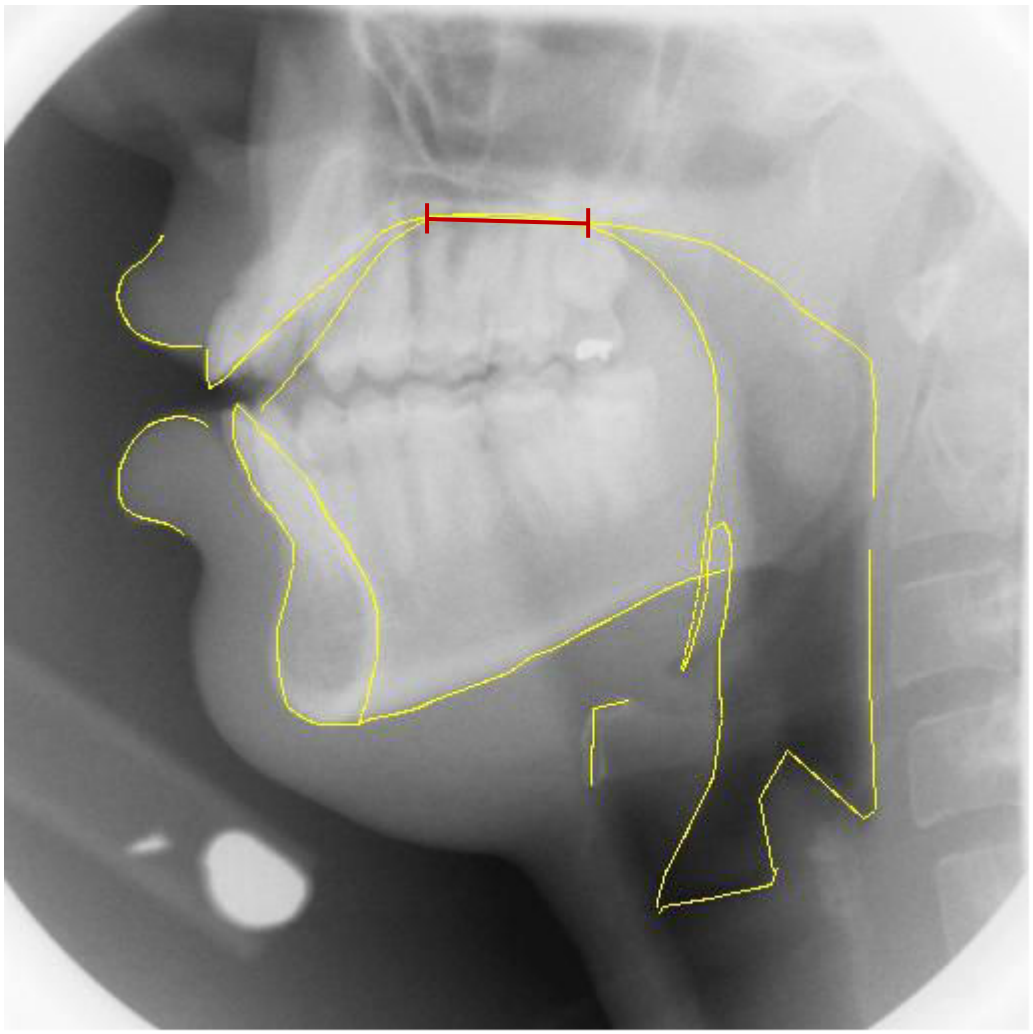


Figure 270 : Étendue de contact (Kh : /kk/= 22mm)

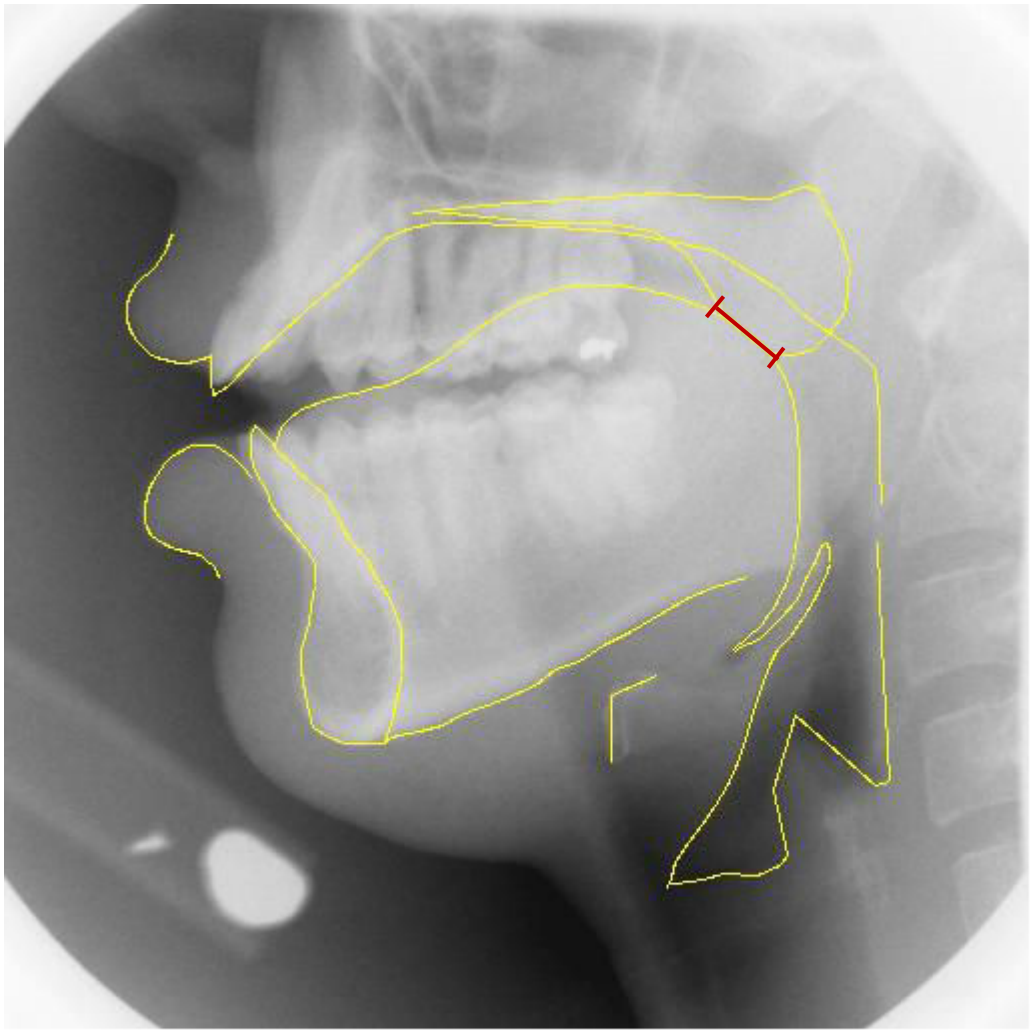


Figure 271 : Étendue de contact (Kh : /q/= 11mm)

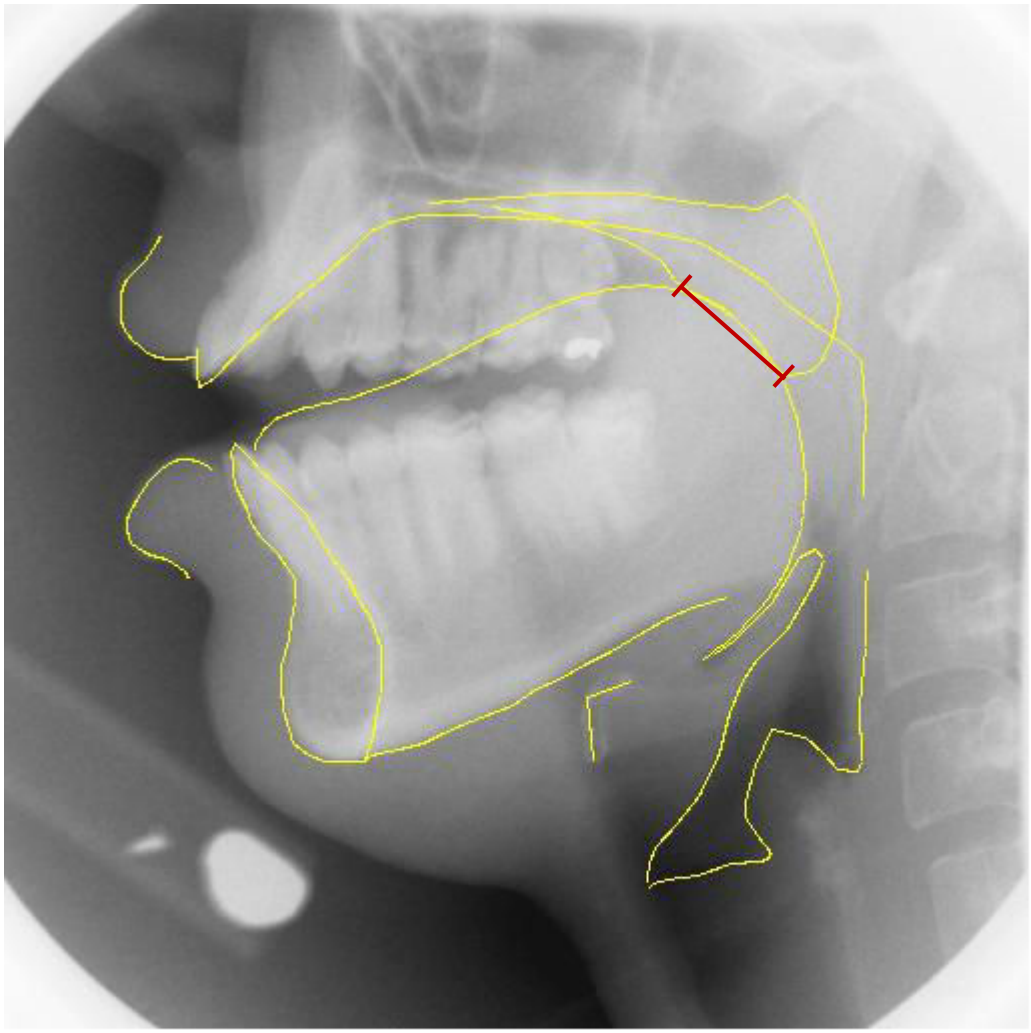


Figure 272 : Étendue de contact (Kh : /qq/= 19 mm)

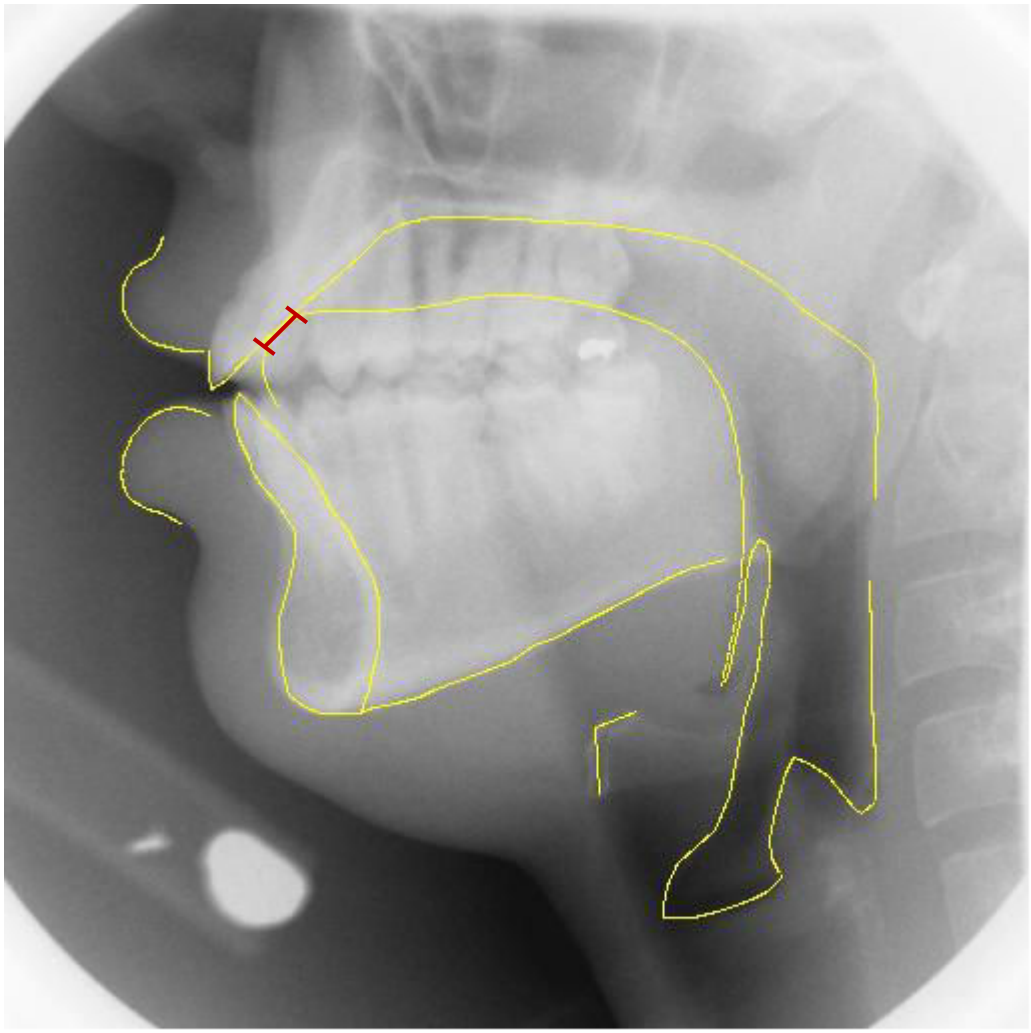


Figure 273 : Étendue de contact (Kh : /d/= 6mm)

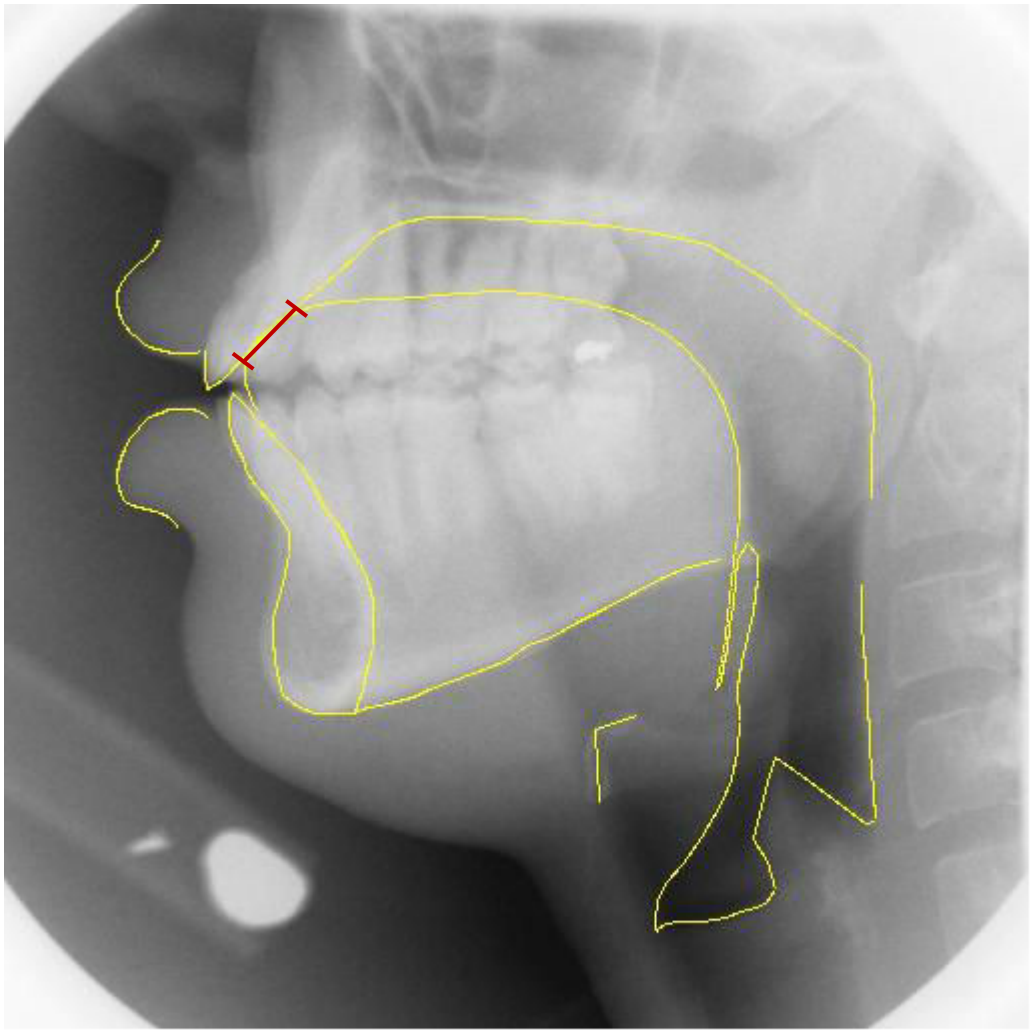


Figure 274 : Étendue de contact (Kh : /dd/= 10 mm)

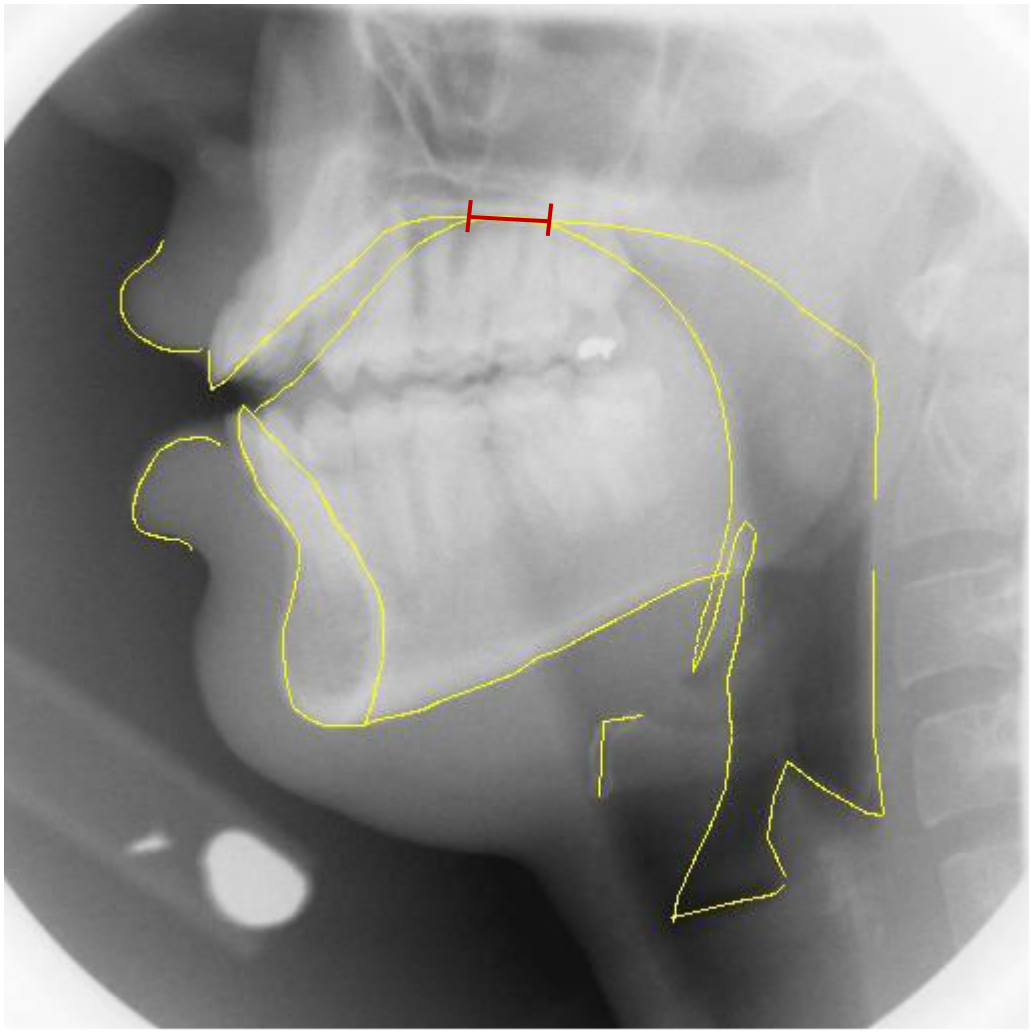


Figure 275 : Étendue de contact (Kh : /g/= 11mm)

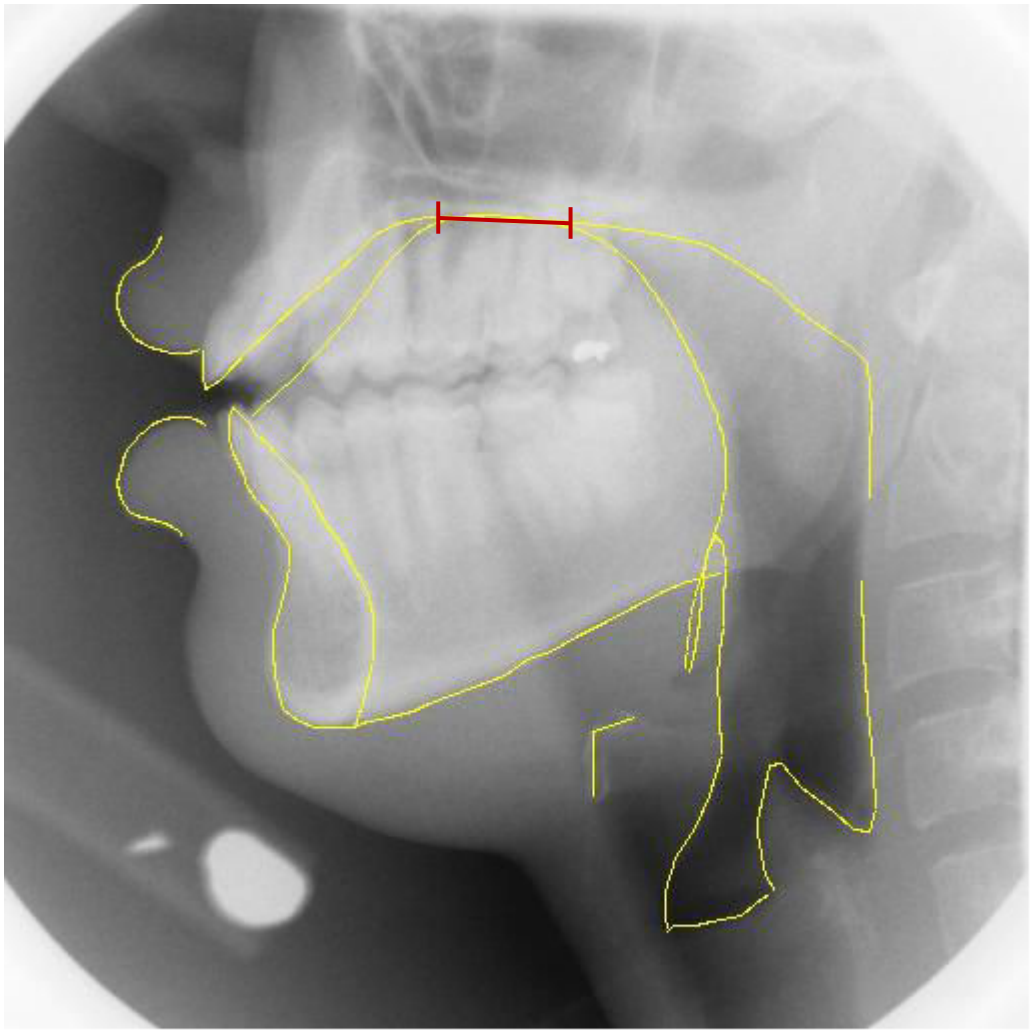


Figure 276 : Étendue de contact (Kh : /gg/= 18mm)

21 Annexe 4

Les coupes sagittales du conduit vocal des consonnes simples et géminées en position intervocalique

Locuteur F

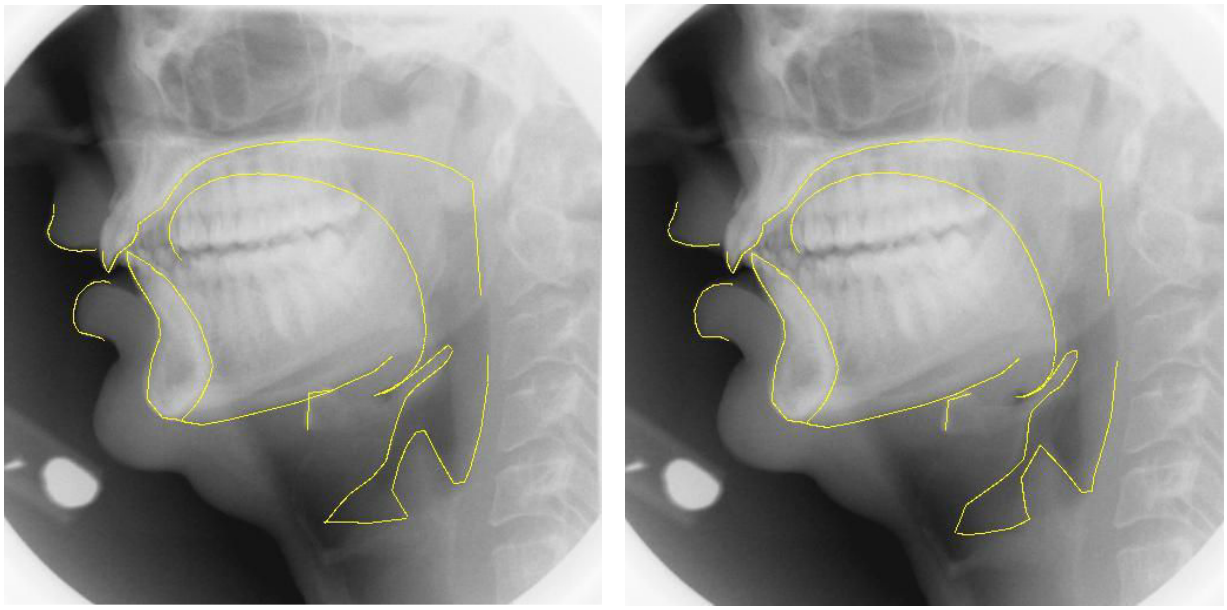


Figure 277 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /ʃ/ à gauche et /ʃʃ/ à droite en position intervocalique; locuteur F

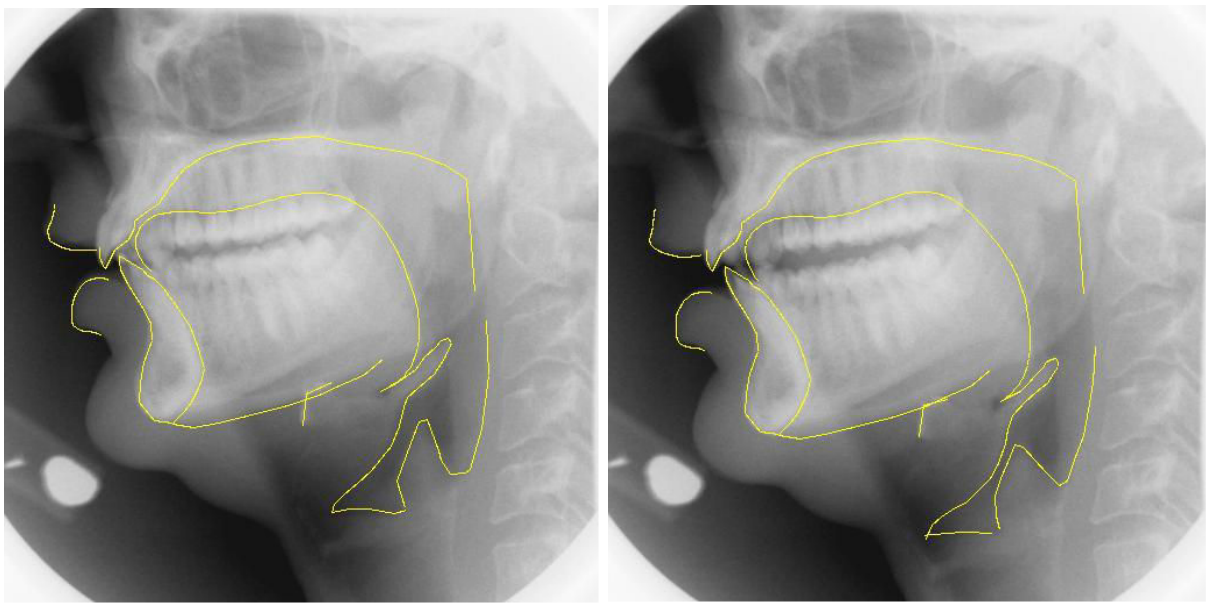


Figure 278 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /s/ à gauche et /ss/ à droite en position intervocalique; locuteur F

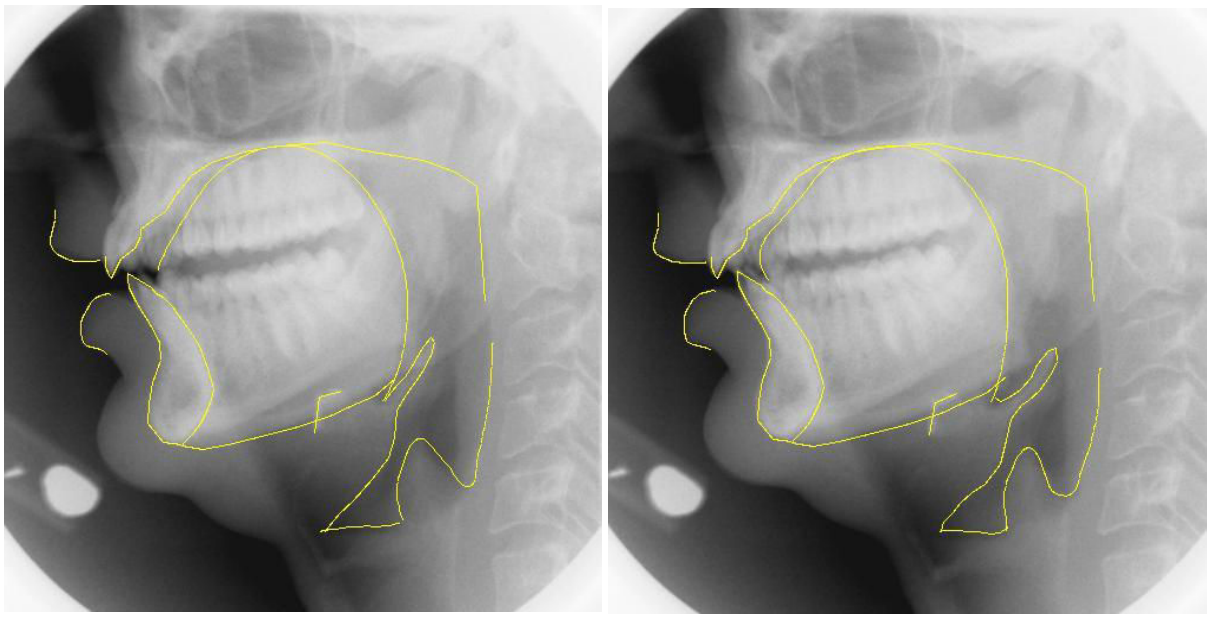


Figure 279 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /K/ à gauche et /KK/ à droite en position intervocalique; locuteur F

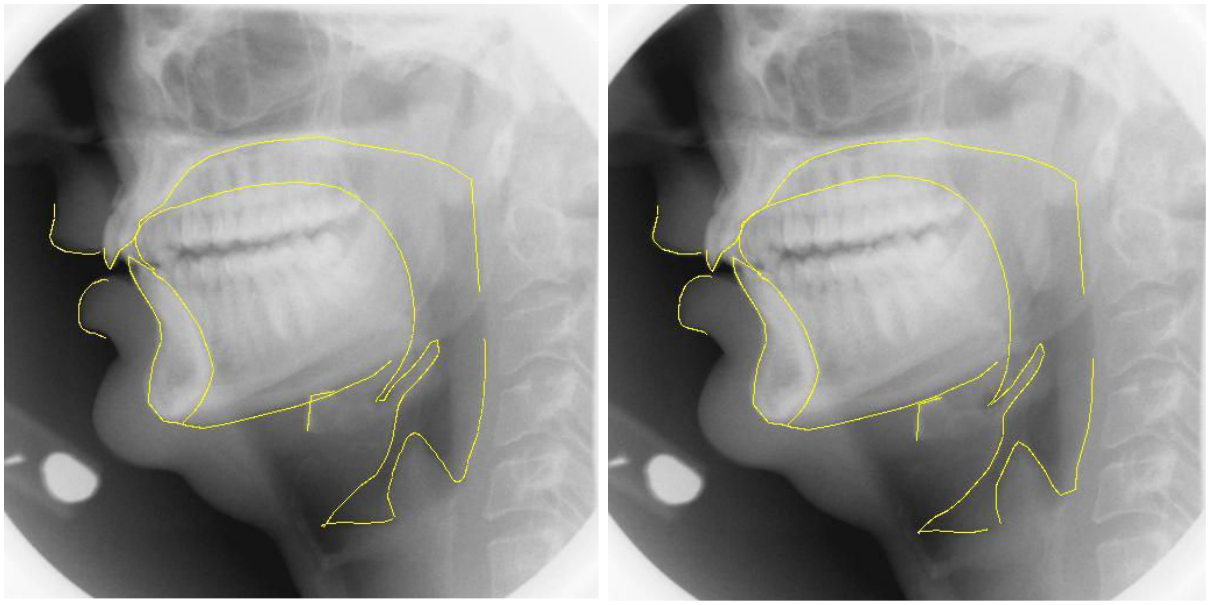


Figure 280 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /t/ à gauche et /tt/ à droite en position intervocalique; locuteur F

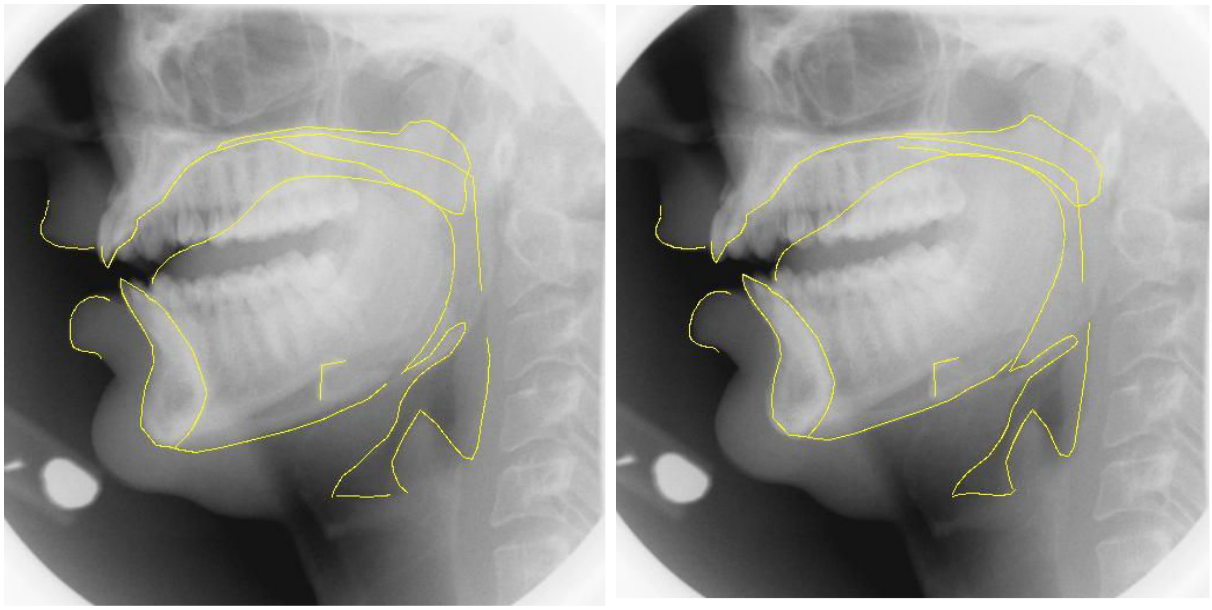


Figure 281 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /q/ à gauche et /qq/ à droite en position intervocalique; locuteur F

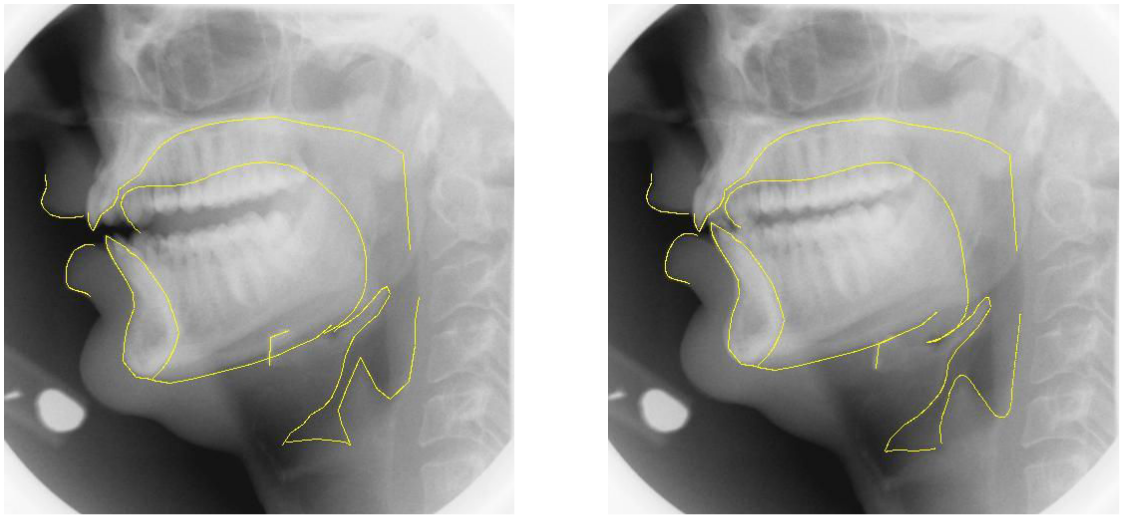


Figure 282 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /z/ à gauche et /zz/ à droite en position intervocalique; locuteur F

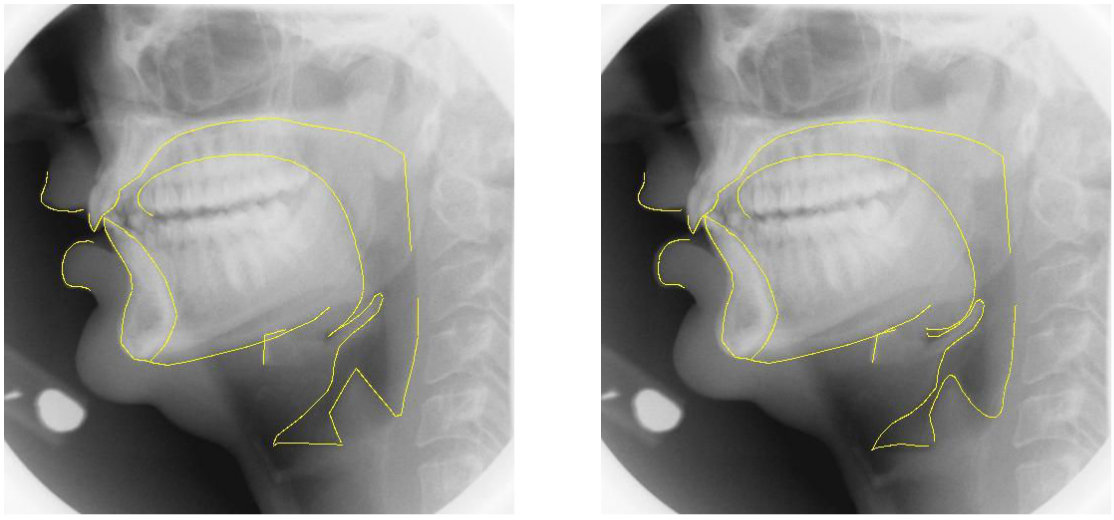


Figure 283 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /ʒ/ à gauche et /ʒʒ/ à droite en position intervocalique; locuteur F

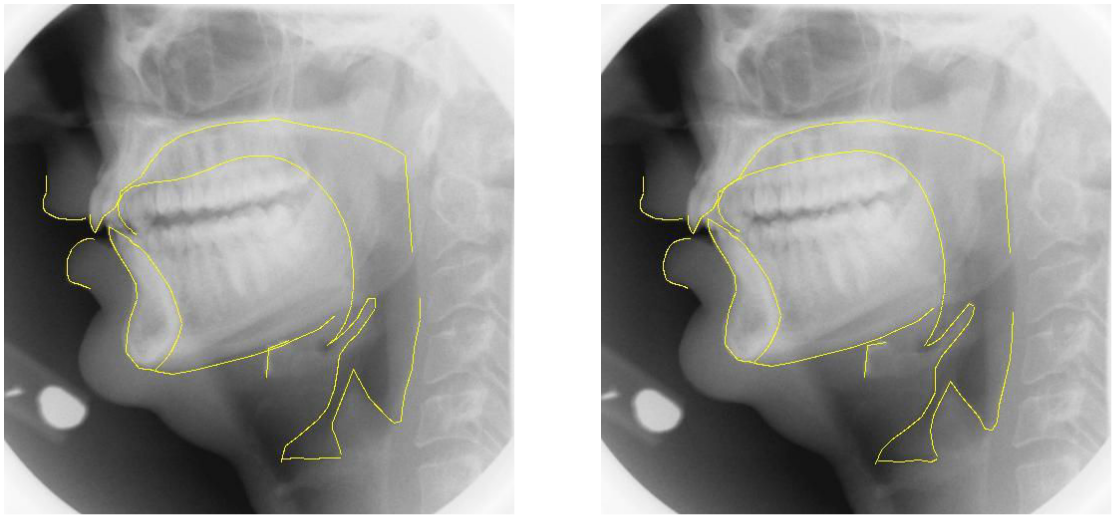


Figure 284 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /d/ à gauche et /dd/ à droite en position intervocalique; locuteur F

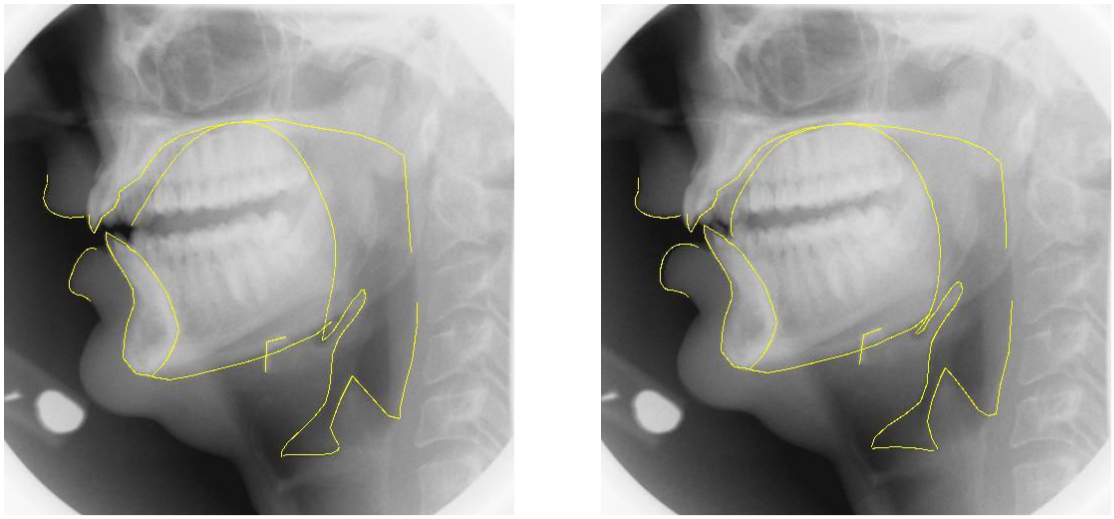


Figure 285 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /g/ à gauche et /gg/ à droite en position intervocalique; locuteur F

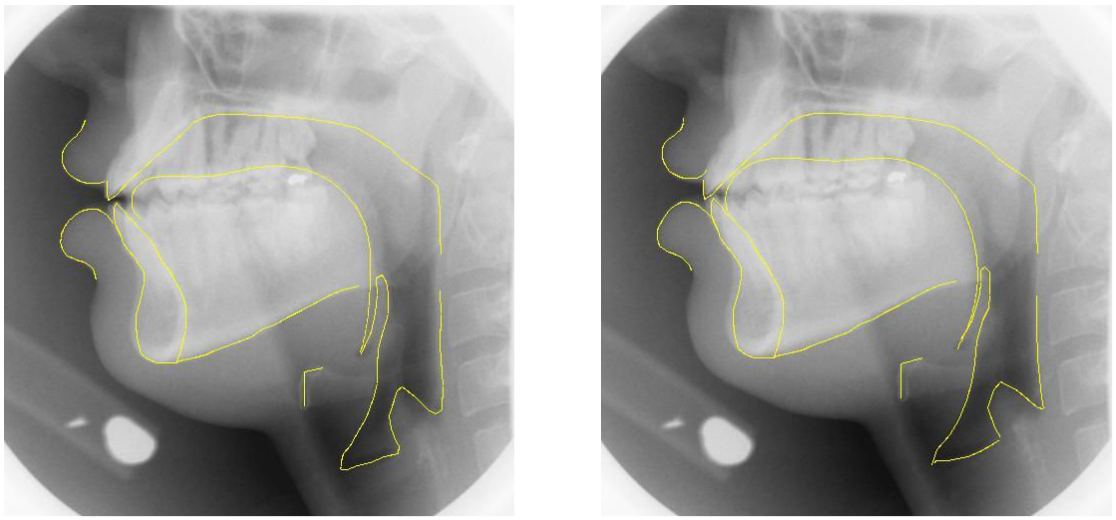


Figure 286 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /s/ à gauche et /ss/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh

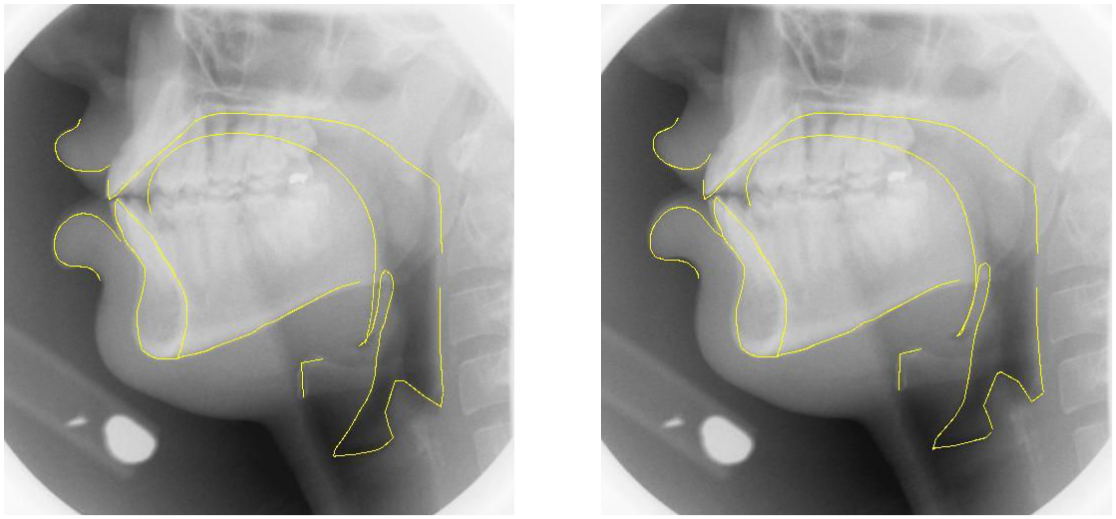


Figure 287 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /ʃ/ à gauche et /ʃʃ/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh

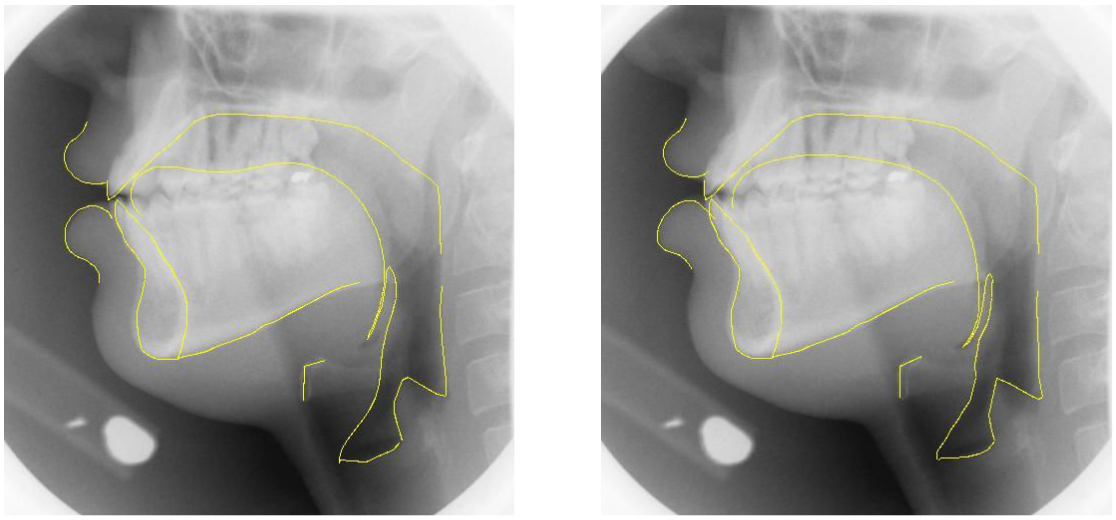


Figure 288 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /z/ à gauche et /zz/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh

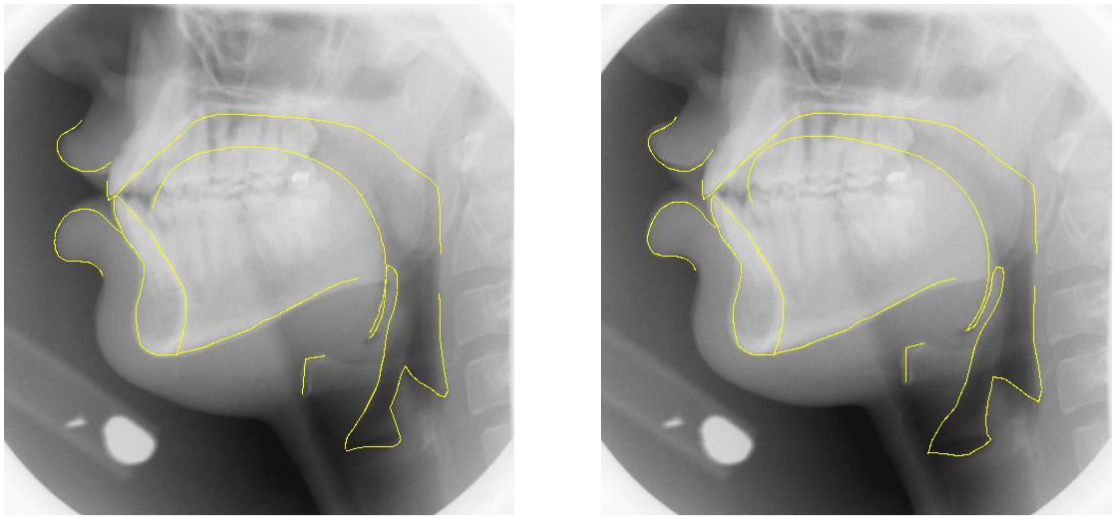


Figure 289 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /ʒ/ à gauche et /ʒʒ/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh

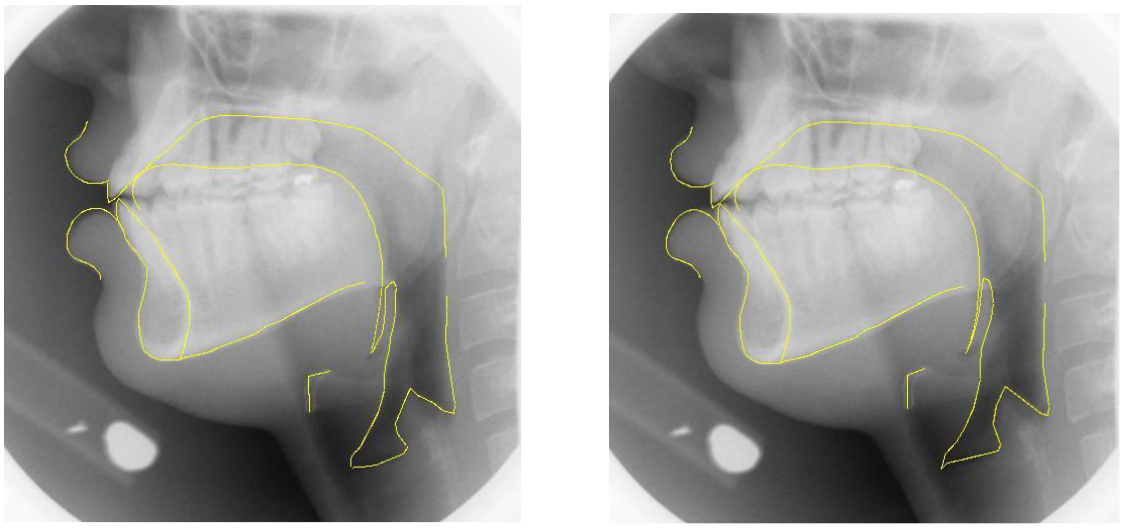


Figure 290 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /t/ à gauche et /tt/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh

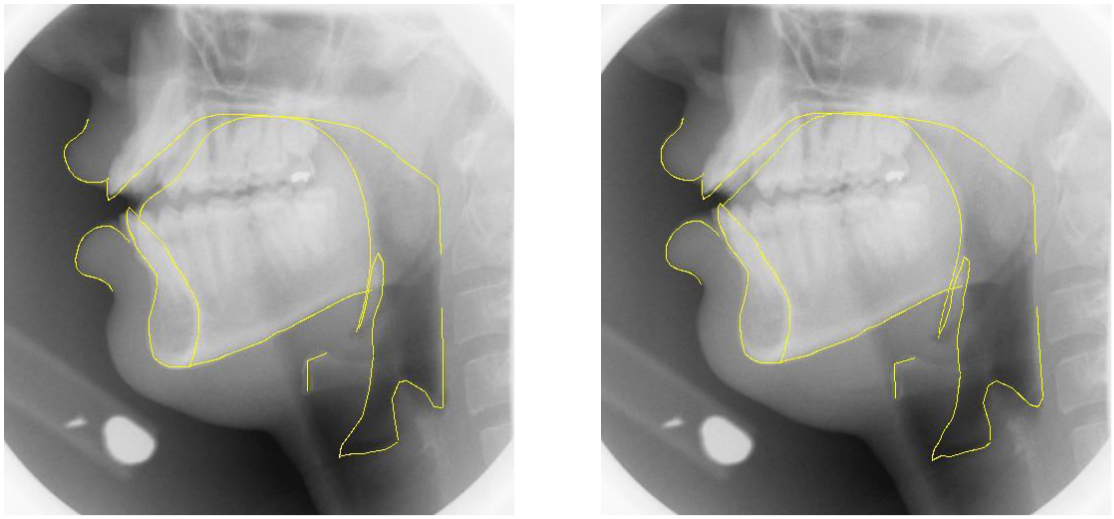


Figure 291 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /k/ à gauche et /kk/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh

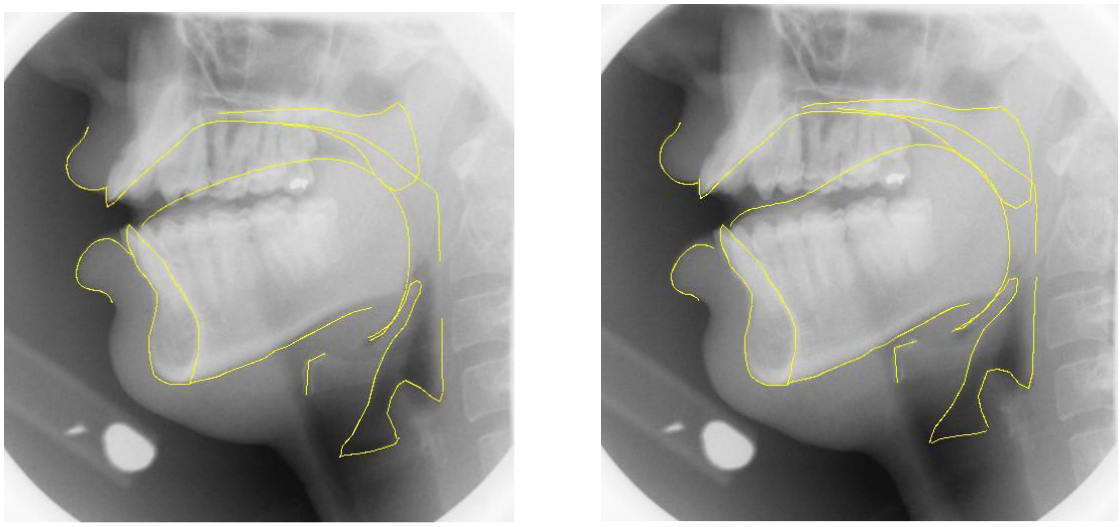


Figure 292 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /q/ à gauche et /qq/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh

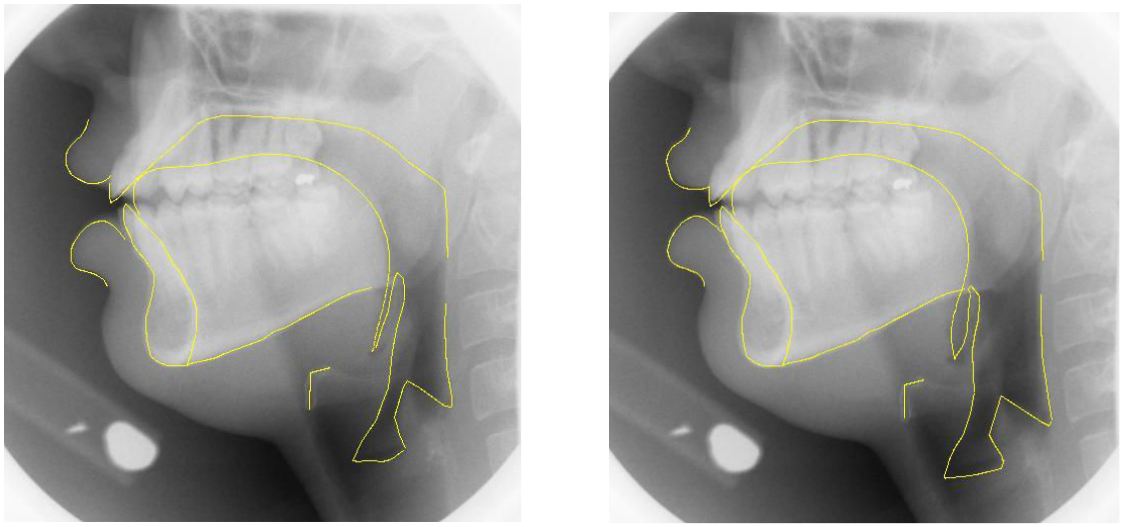


Figure 293 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /d/ à gauche et /dd/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh

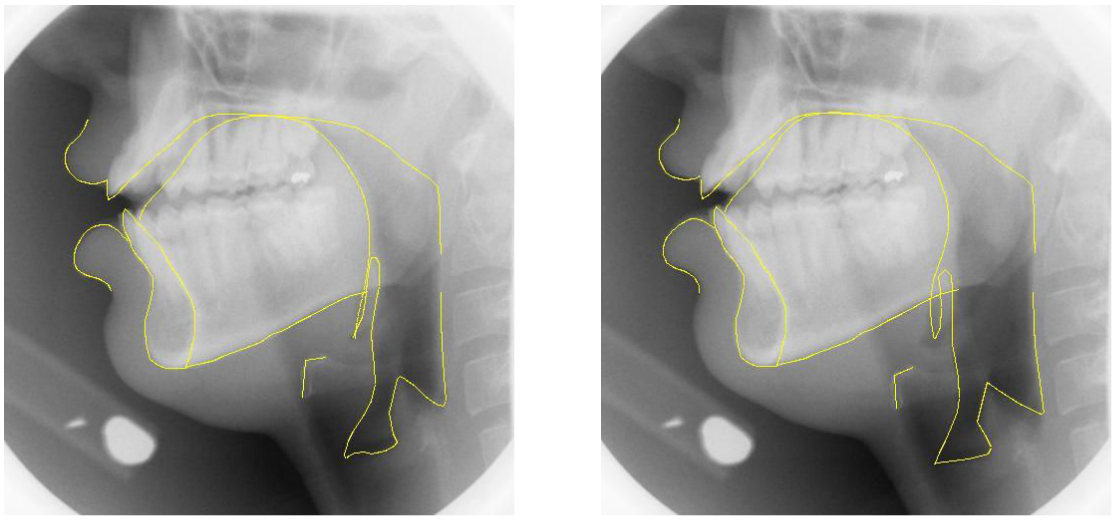


Figure 294 : Coupes sagittales du conduit vocal pour /ʒ/ à gauche et /ʒʒ/ à droite en position intervocalique; locuteur Kh

Résumé
Ce travail se focalise sur le parler du tarifit de la province de Nador, afin d'étudier la gémination dans cette variante du berbère, parlée au Maroc. Il s'agit d'une investigation articulatoire cinéradiographique et acoustique. Un aperçu général du système phonologique du tarifit est proposé. Dans la revue critique de l'état de la question, nous avons tenté, d'abord, de montrer les différents arguments relatifs à la représentation des géminées en un seul segment ou en une suite de deux segments. Nous avons ensuite évoqué les débats contradictoires sur les notions de tension et de gémination. Notre recherche est conduite dans le cadre du paradigme de la perturbation et des réajustements, en variant la vitesse d'élocution. Les résultats principaux dans le domaine acoustique montrent, pour toutes les consonnes, simples et géminées, produites en vitesse d'élocution normale ou rapide, que la durée de la tenue consonantique est l'indice principal qui permet de les distinguer. Au niveau articulatoire, l'étude du timing des paramètres articulatoires indique, entre autres, que c'est le contact apical, vélaire et uvulaire, plus long pour la géminée, qui est le paramètre préférentiel de la distinction phonologique simple *vs*. géminée. L'analyse des vues de profil donne les résultats suivants en ce qui concerne l'étendue de contact (mm) : a) l'étendue de contact des occlusives est systématiquement plus importante pour les géminées que pour les simples ; b) l'étendue de contact augmente de la consonne apical, au vélaire (réalisée plutôt palatale), puis à l'uvulaire. Les résultats sont discutés en termes de relations articulatori-acoustiques.

Abstract
This work focuses on tarifit of the provinces of Nador, in order to study gemination in this variant of Berber spoken in Morocco. This is an acoustic and articulatory X-ray investigation. A general overview of the tarifit phonological system is proposed. In a critical review of the literature, we tried, first, to show the different arguments concerning representation of geminates as one or as a sequence of two segments. We then discussed the contradictory debates on the concepts of tension and gemination. Our research is carried out within the perturbation and readjustments paradigm, by varying speech rates. Main results in the acoustic domain show for all consonants, singletons and geminates, produced in normal or fast speech, that consonantal closure is the main cue that allows distinguishing them. On the articulatory level, the study of the timing of articulatory parameters indicates, among other things, that it is the apical, velar and uvular contact, longer for geminates, which is the preferred parameter of the singleton *vs*. geminate phonological distinction. Analysis of profile views gives the following results regarding contact extent (mm): a) contact extent for plosives are systematically larger for geminates than for singletons; b) contact extent increases as one goes from the apical consonant to the velar (rather palatal) consonant, then to the uvular consonant. Results are discussed in terms of articulatory-acoustic relations.