



HAL
open science

Geminate consonants in tarifit: phonetic correlates and perceptual cues

Fayssal Bouarourou, Saïd Bouzidi, Béatrice Vaxelaire, Rudolph Sock

► **To cite this version:**

Fayssal Bouarourou, Saïd Bouzidi, Béatrice Vaxelaire, Rudolph Sock. Geminate consonants in tarifit: phonetic correlates and perceptual cues. *Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Oujda. Les études linguistiques et littéraires amazighes : Quelles tendances au cours des deux dernières décennies ?*, 2020, 978-9920-32-478-6. hal-04343152

HAL Id: hal-04343152

<https://hal.science/hal-04343152>

Submitted on 13 Dec 2023

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

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

Les consonnes géminées du tarifit : corrélats phonétiques et indices perceptifs

Fayssal Bouarourou, Saïd Bouzidi, Béatrice Vaxelaire & Rudolph Sock
Université de Strasbourg

Introduction

Ce travail a pour but de dégager les indices acoustiques, articulatoires et perceptifs responsables de la distinction phonologique entre consonne simples et leurs homologues géminées, et de mettre au jour des relations articulatoire-acoustiques et sensori-motrices éventuelles liées à ce phénomène phonologique de la gémination.

L'originalité de ce 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 en parole (Laprie *et al.*, 2003). L'exploitation de données cinéradiographiques peuvent aussi servir à valider des modèles biomécaniques (Perrier *et al.*, 2011).

L'originalité de cette investigation tient aussi 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).

1. Etude acoustique

Sur le plan acoustique, plusieurs travaux (par ex. Ridouane, 2003 ; Abramson, 1987, 1998 ; Lahiri & Hankamer, 1988 ; Arvaniti & Tserdanelis, 2000, 2001; Kawahara, 2012 ; Bouarourou, 2014 ; Koya, 2015), ont été 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 (Voice Onset Time ou délai d'établissement du voisement), la durée des fricatives, l'amplitude du *burst* (explosion-friction) et la fréquence fondamentale de la voyelle suivante. Ces auteurs ont démontré l'existence de plusieurs indices qui permettent de distinguer les simples des géminées. La plupart des travaux cités trouve que la durée de la tenue consonantique est l'indice principal pour distinguer les deux catégories. D'autres indices mis au jour pour certaines langues restent secondaires.

Dans le cadre du paradigme de la perturbation et des réajustements, plusieurs études ont examiné le comportement des consonnes simples et des 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 ; Bouarourou, 2014; Koya, 2015). 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 que : 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.

1.1. Méthode

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 natifs du tarifit. 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. Ces paires ont été introduites en trois positions de mot : initiale (non absolue), intervocalique, et finale (non absolue). À l'aide du logiciel *PRAAT*, 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 (Voice Termination Time ou délai d'arrêt du voisement après la disparition de la structure formantique clairement définie de la voyelle précédant la consonne cible) ; 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 (ANOVA).

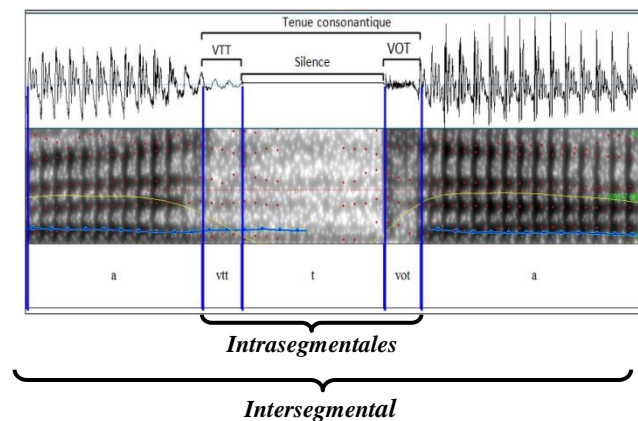


Figure 1 : Paramètres intersegmentaux et intrasegmentaux du signal acoustique de la séquence [ata]

Dans cette investigation, nous allons aussi analyser quelques paramètres temporels des obstruents dans trois positions de mot : en positions 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 consonnantique et la durée des voyelles adjacentes et, d'autre part, au niveau intrasegmental, à savoir la durée du VTT, du silence acoustique et du VOT (Klatt, 1975) pour les occlusives sourdes (voir Figure 1) et la durée de l'occlusion et le VOT pour les occlusives sonores. 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 (Bouarourou *et al.*, 2010).

1.2. Hypothèses

- *Hypothèse n° 1* : La gémination étant un fait phonologique temporel de quantité consonnantique, il est tout-à-fait cohérent de s'attendre à des différences de durées consonnantiques, 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 consonnantique pour les sonores (*Hypothèse n° 4*), deux intervalles intrasegmentaux consonnantiques, 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 géménées, qui pourrait reposer aussi sur des différences de pression intra-orale durant la tenue consonantique, et 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 géménées 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 géménées, 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.

1.3. Données acoustiques

Au niveau acoustique, les *données absolues* reposent sur les mesures suivantes : a) la durée des consonnes simples et géménées dans trois positions intervocalique, initiale non absolue et finale non absolue) ; b) les durées intersegmentales pour les consonnes simples et géménées 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 intrasegmentales 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* (Figure 2) montrent, pour toutes les consonnes produites en vitesse d'élocution normale ou rapide, que la durée de la tenue consonantique est significativement plus longue pour les géménées que pour les simples (pour chaque consonne analysée $p < 0,0001$) (conformément à l'*Hypothèse n° 1*).

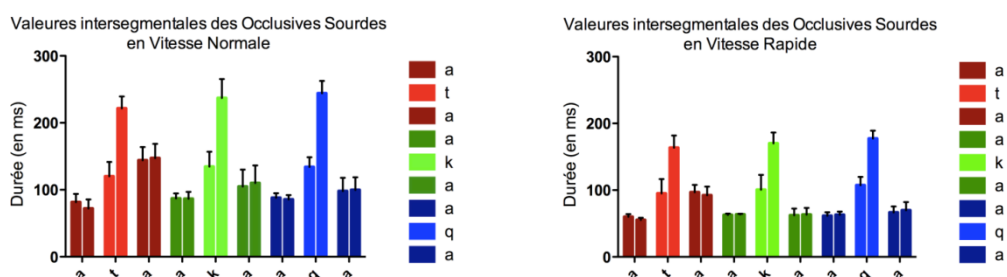


Figure 2 : Valeurs intersegmentales des occlusives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite pour les paires /ata/-/atta/, /aka/-/akka/ et /aqa/-/aqqa/ du tarifit

La durée des voyelles adjacentes ne contribue pas à l'opposition phonologique de la gémination (*Hypothèse n° 2* n'est pas vérifiée). Nos données pour le tarifit ne correspondent pas à celles de McKay (1980) sur le rembarnga (langue nord-australienne), qui ont démontré que les voyelles sont plus courtes devant les géménées 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 géménées 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* (Figure 3), l'analyse a permis d'observer que la durée du silence acoustique des géménées pour les occlusive sourdes est significativement plus long que celle de leurs homologues simples (pour chaque consonne analysée, $p < 0,0001$) (*Hypothèse n° 3* est vérifiée). Pour les occlusives sonores simples et géménées, c'est la durée de l'occlusion qui permet de distinguer les deux catégories (pour chaque consonne analysée $p < 0,0001$) (ce qui est conforme à l'*Hypothèse n° 4*).

Le VOT n'intervient pas dans 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 de séparer les occlusives sourdes simples des géminées (Hypothèse n° 6 n'est pas vérifiée). 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).

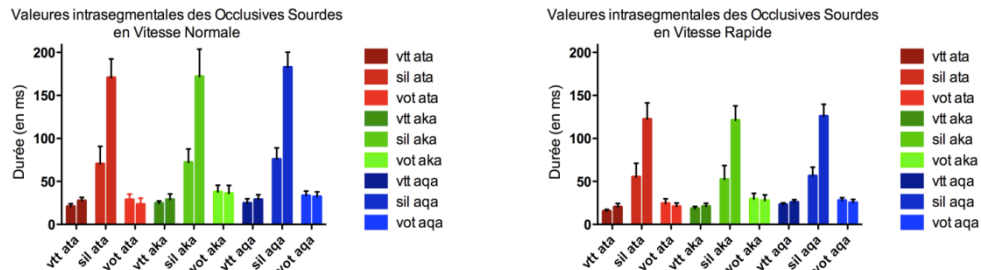


Figure 3 : Valeurs intrasegmentales des occlusives sourdes en vitesse d'élocution normale à gauche et en vitesse d'élocution rapide à droite pour les paires /ata/-/atta/, /aka/-/akka/ et /aqa/- /aqqa/ du tarifit.

2. Etude articulatoire

Sur le *plan articulatoire* et *physiologique*, plusieurs études ont été menées sur différentes langues qui possèdent la distinction simple / géminée (par ex. Vaxelaire, 1995 ; Ridouane, 2003 ; 2007 ; Farnetani, 1990 ; Byrd, 1995 ; Kraehenmann & Lahiri, 2008 ; Löfqvist, 2005 ; 2006 ; 2007 ; 2009), 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) la durée acoustique de la tenue consonantique est plus longue pour les géminées ; b) des occlusions (contacts ou étendues de contact) sont plus longues pour les géminées ; c) une forte augmentation de la pression intra orale ; 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. 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.

2.1. Méthode

Notre étude articulatoire repose sur une étude cinéradiographique pour l'étude du phénomène de gémination du tarifit. Dans ce travail, nous avons étudié deux films de deux locuteurs KH et F (un film par locuteur) que nous avons extraits de la base de données de l'Institut de Phonétique de Strasbourg (les films sont au format DICOM, à 25 Hz). Une post-synchronisation 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 (voir Figure 4). Le logiciel *X-Articulator* nous a permis d'obtenir le contour des différents articulateurs de manière automatique ou semi-automatique sur les films de cette investigation. 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.

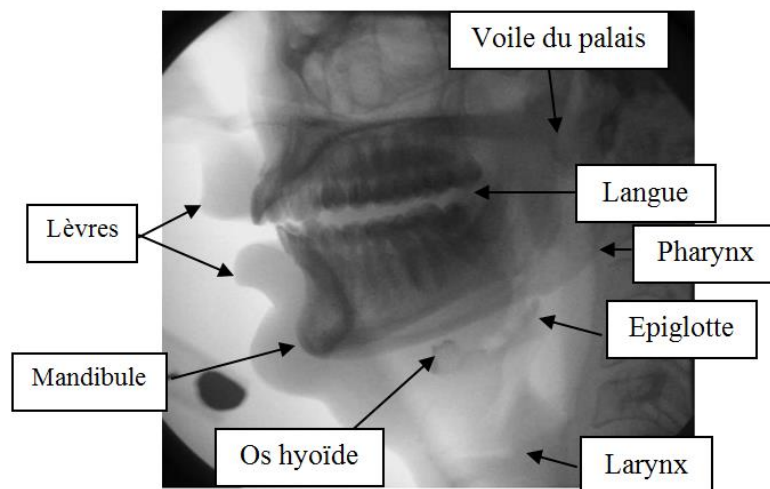


Figure 4 : Radiographie d'une vue sagittale du conduit vocal

2.2. Hypothèses

- *Hypothèse n° 1* : Les différences de durée entre les consonnes géminées et les consonnes simples observées sur le plan acoustique devraient aussi être visibles prioritairement au niveau du contrôle temporel des paramètres articulatoires.
- *Hypothèse n° 2* : Ces différences de durée pourraient être accompagnées de différences au niveau des déplacements d'articulateurs critiques, dans la dimension spatiale.
- *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.
- *Hypothèse n° 4* : Nous examinerons les phénomènes d'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:
 - (a) retardé en contexte géminé, le temps de réaliser correctement une striction (contact ou constriction) longue, mais
 - (b) anticipé en contexte d'une consonne simple, où la striction dure relativement moins longtemps.
- *Hypothèse n° 5* : Au niveau glottique, la différence entre simples et géminées serait la même que celle qui oppose la production de consonnes implusives et éjectives. L'ensemble larynx-os hyoïde devrait être plus élevé pour les géminées, comme pour les éjectives, à cause d'un taux de la pression intra-orale supérieur pour les géminées.

2.3. Données articulatoires

L'analyse des données de nos deux locuteurs, Kh et F, pour les séquences VCV, où la consonne est une *occlusive* ou une *constrictive 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 alvéolaire 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 alvéolaires 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. En 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 pensons, 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 des trois premiers paramètres articulatoires (l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale) illustré dans les Figures 5 et 6 ci-dessus, il est évident que le contact alvéolaire, vélaire et uvulaire, plus long pour la géminée, est le paramètre préférentiel de la distinction phonologique simple vs. géminée (*Hypothèse n° 1*). Dans le cas des consonnes alvéolaires et vélares, 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 par rapport à la simple, pendant l'occlusion. Le contact uvulaire 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 consonnes géminées, comparées aux consonnes simples en contextes alvéolaire et vélaire. Nous avons constaté aussi, dans ces contextes, 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*).

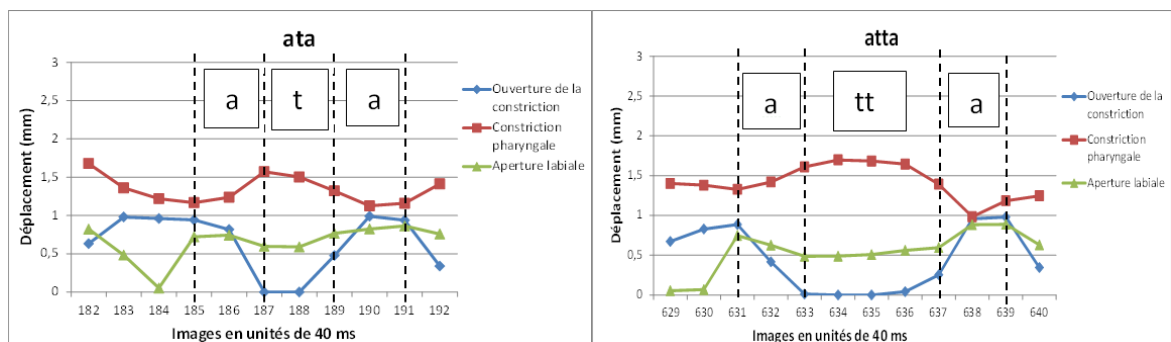


Figure 5 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /ata/ (à gauche) et /atta/ (à droite) ; locuteur F

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*).

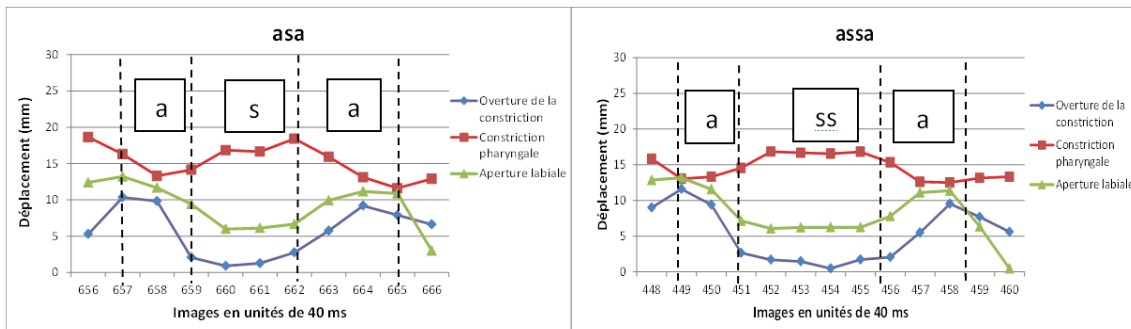


Figure 6 : Trajectoires de trois paramètres articulatoires, à savoir l'ouverture de la constriction, la constriction pharyngale et l'aperture labiale, pour la séquence /asa/ (à gauche) et /assa/ (à droite) ; locuteur Kh

En ce qui concerne le niveau laryngale, 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 (voir Figure 7), 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.

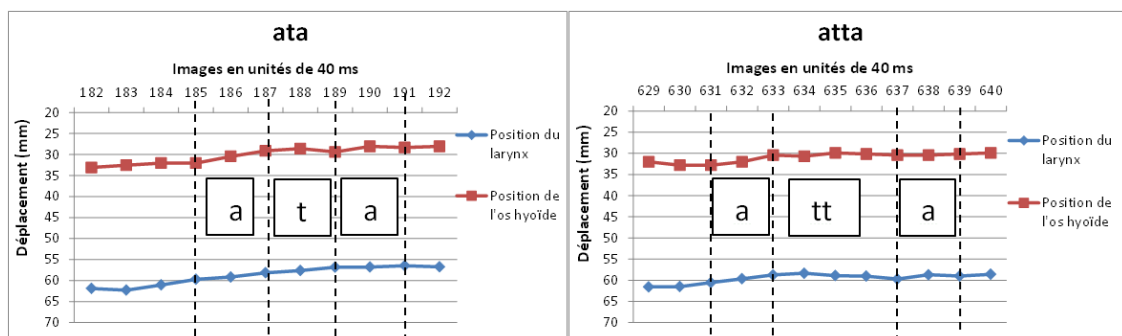


Figure 7 : Les gestes du larynx et de l'os hyoïde en position intervocalique pour la séquence /ata/ (à gauche) et /atta/ (à droite) ; locuteur F

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 sur l'étendue de contact : 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, à la vélaire (réalisée plutôt palatale ici), puis à l'uvulaire (à quelques rares exceptions près)

(voir Figures 8, 9, et 10). Par rapport à la durée de la tenue articuloire (en ms), celle des occlusives et des constrictives géminées est plus longue que celle de leurs homologues simples.

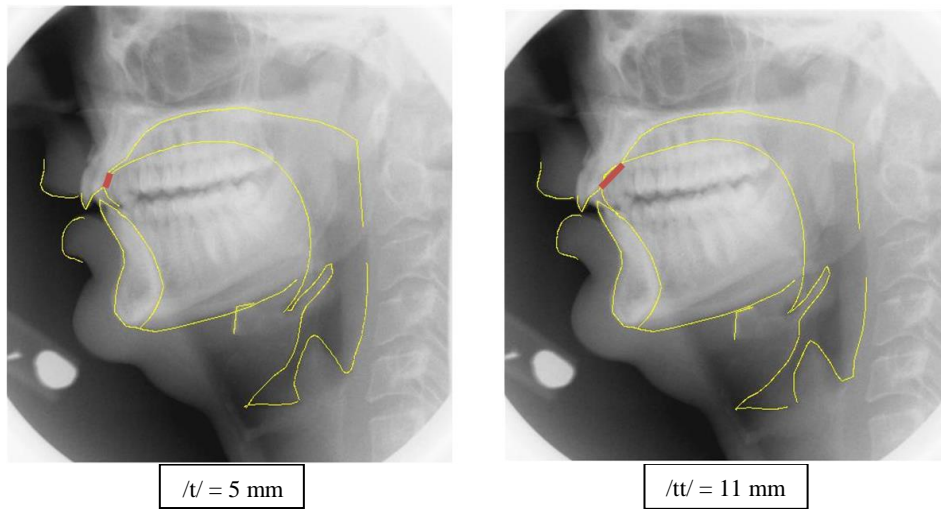


Figure 8 : l'étendue de contact de /t/ = 5 mm (à gauche) et /tt/ = 11 mm (à droite) ; locuteur F

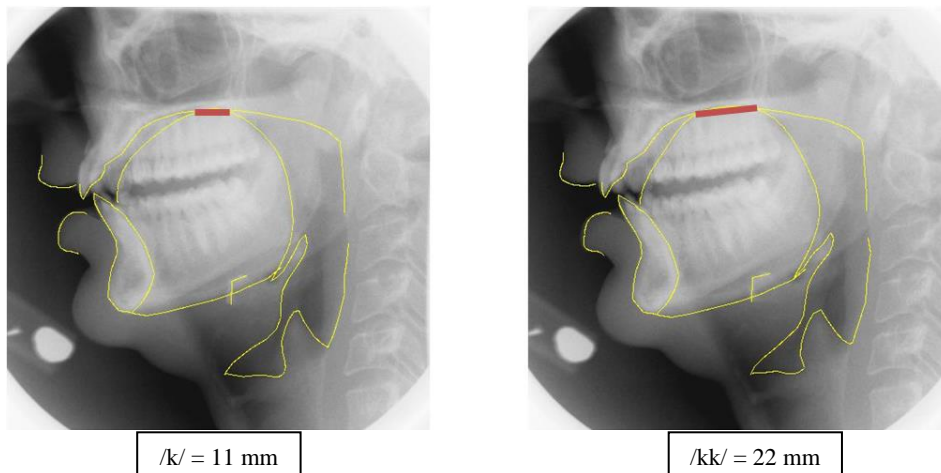


Figure 9 : l'étendue de contact de /k/ = 11 mm (à gauche) et /kk/ = 22 mm (à droite) ; locuteur F

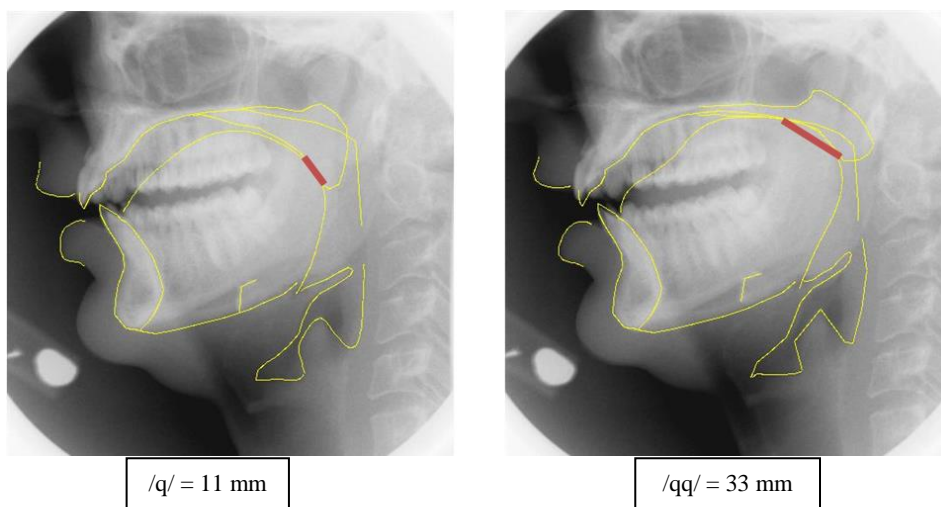


Figure 10 : l'étendue de contact de /q/ = 11 mm (à gauche) et /qq/ = 33 mm (à droite) ; locuteur F

3. Relations entre paramètres articulatoires et articulatoire-acoustiques

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* (Figure 11). Par rapport aux relations articulatoire-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 (Figure 12). L'examen des données révèle que lorsque deux paramètres temporels sont combinés, à savoir la tenue articulatoire et la durée acoustique (Figure 13), 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 décidément et prioritairement sur le substrat physique temporel.

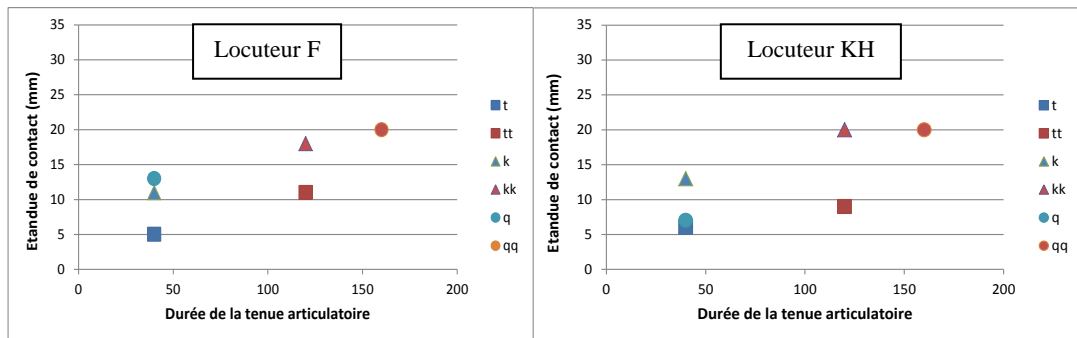


Figure 11 : Relations entre l'étendue de contact (mm) et la durée de la tenue articulatoire des occlusives sourdes; locuteur F (à gauche) et locuteur KH (à droite).

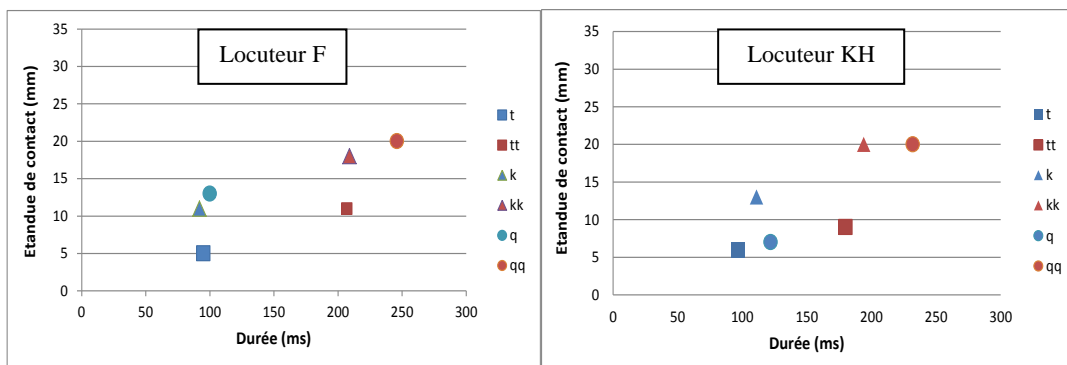


Figure 12 : Relations entre l'étendue de contact (mm) et la durée acoustique (ms) des occlusives sourdes; locuteur F (à gauche) et locuteur KH (à droite).

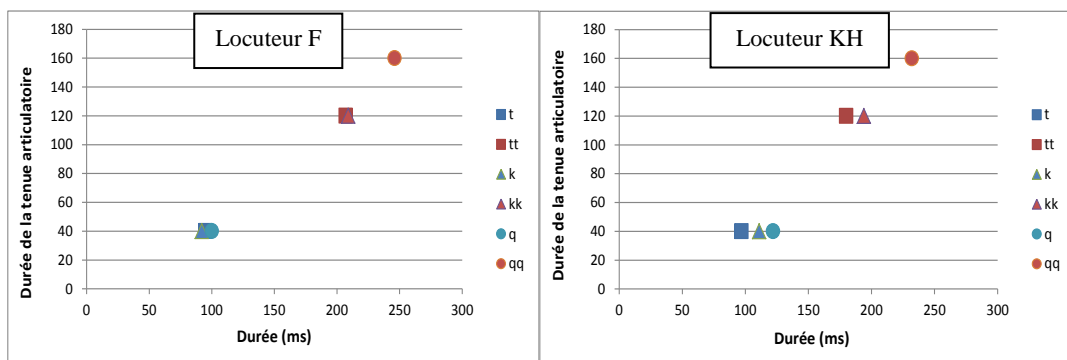


Figure 13: Relations entre la tenue articulatoire et la durée acoustique des occlusives sourdes; locuteur F (à gauche) et locuteur KH (à droite).

4. Etude perceptive

Sur le plan perceptif, quelques travaux (par ex. Pickett et Decker, 1960 ; Delattre, 1981 ; Archambault, 1985 ; Hankamer, Lahiri & Koreman, 1989 ; Louali & Puech, 1994 ; Rochet & Rochet, 1995 ; Amano & Hirata, 2010) ont été menés sur différentes langues possédant la distinction simple / gémignée, afin de dégager des indices perceptifs liés au phénomène de la gémination, à savoir le point de rupture au-delà duquel une gémignée serait perçue comme simple et une simple serait perçue comme une gémignée. Ces travaux ont montré que c'est au niveau de la durée consonantique que se trouve l'indice perceptif principal de cette distinction phonologique.

4.1. Méthode

En ce qui concerne l'étude perceptive dans ce travail, nous avons effectué des tests pour 5 paires de consonnes occlusives en position intervocalique et en vitesse d'élocution normale et rapide.

Le stimulus dans cette étude concerne le signal acoustique de gémignées ou de simples, tronqué pour les gémignées ou augmenté pour les simples, d'un palier de 10 ms pour les deux vitesses d'élocutions, à l'aide du logiciel libre *Cool Edit Pro 2.1* (Figure 14). Pour le test de perception, nous avons choisi le logiciel open-source *PsychoPy version v 1.79.00* (Peirce, 2007, 2009), qui permet des paramétrages spécifiques adaptés à notre expérience.

Le test de perception s'est déroulé dans une chambre insonorisée, afin d'éviter toute perturbation acoustique. Il consiste à faire écouter les différents stimuli aux sujets, qui doivent répondre en choisissant entre les deux possibilités de réponses : « simple » ou « gémignée », et ce, en appuyant avec le curseur sur l'icône appropriée. Afin de les préparer au vrai test et de les familiariser avec le logiciel, un test introductif est proposé avec des stimuli semblables. Ces stimuli (14 à 16 stimuli + le stimulus original) sont présentés auditivement 1 fois à 4 sujets, dans un ordre aléatoire. Les données de chaque sujet sont récupérées dans un fichier Excel, où sont listées les informations pertinentes et indispensables pour notre expérience.

Les résultats correspondent aux nombres de jugements d'identification pour chacune des deux séries de présentation (mot avec la consonne gémignée, abrégée par paliers, et mot avec la consonne simple allongée par pallier) des 4 sujets testés.

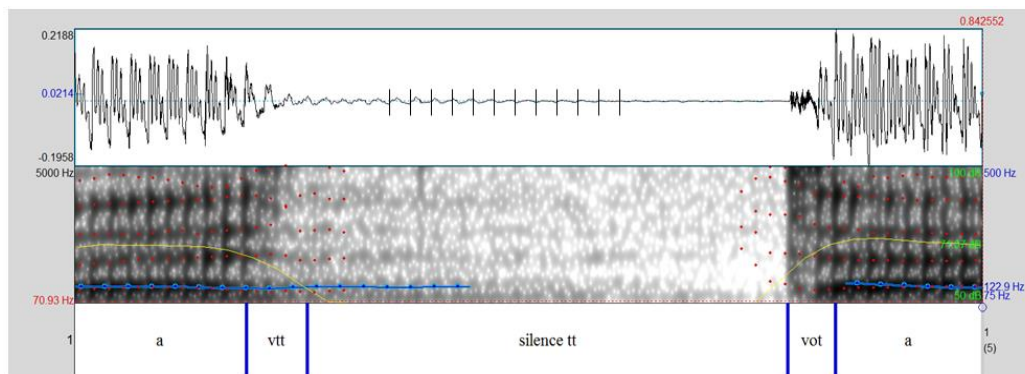


Figure 14 : Stimuli : exemple de signal acoustique de gémignées ou de simples, tronqué pour les gémignées ou augmenté pour les simples

4.2. Hypothèses

- *Hypothèse n° 1* : Les différences de durée entre les consonnes gémignées et les consonnes simples observées sur les plans acoustique et articulaire devraient aussi être visibles sur le plan perceptif.
- *Hypothèse n° 2* : Il existerait un point de rupture au-delà duquel une gémignée est perçue comme simple et une simple est perçue comme une gémignée.

- *Hypothèse n° 3* : Au niveau perceptif, les catégories oppositives simple /gémignée resteraient bien distinctes malgré la compression des durées suite à l'augmentation de la vitesse d'élocution.
- *Hypothèse n° 4* : Il devrait y avoir une proche correspondance entre les frontières de perception et de production.

4.3. Données perceptives

Après avoir effectué les tests de perceptions, nous avons constaté que c'est bien au niveau de la durée consonantique que la distinction catégorielle perceptive était opérationnelle. L'exemple mentionné de la paire /ata/ vs. /atta/ (Figure 15) indique que le croisement des deux courbes se fait aux alentours de 150 ms en vitesse d'élocution normale et aux alentours de 110 ms en vitesses d'élocution rapide. Le point de croisement des deux courbes indique le point de rupture au-delà duquel une gémignée est perçue comme simple et une simple est perçue comme une gémignée, et ce point de rupture a pu être identifié en vitesses d'élocution rapide également malgré la compression du signal acoustique.

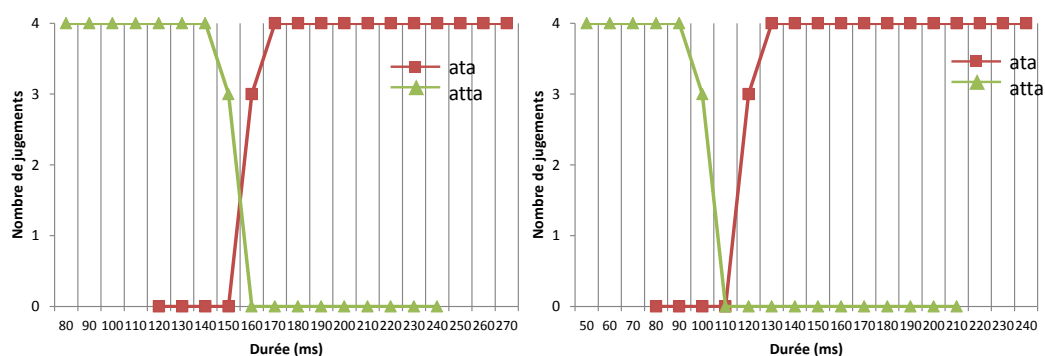


Figure 15: Résultats d'un test perceptif sur la durée de la paire /ata/ /atta/ du tarifit en vitesse d'élocution normale à gauche et rapide à droite

4.4. Relations sensori-motrices

Dans le cas des consonnes alvéolaires /ata/ vs. /atta/, nous constatons aux alentours des 150 ms (images 635 à 636), point de rupture perceptive entre simples et gémignées, les faits articulatoire-acoustiques suivants (Figure16) :

1. Le silence acoustique ne présente pas d'indice qui pourrait indiquer cette bascule catégorielle perceptive au niveau de la phase silencieuse ;
2. Le contact alvéolaire, à la date de la rupture, est accompagné de l'augmentation de la constriction pharyngale et de la réduction de l'aperture labiale, qui durent plus longtemps pour la gémignée par rapport à la simple, pendant l'occlusion ;
3. C'est l'effet combiné d'une phase silencieuse plus longue pour la gémignée, due à une étendue de contact plus large pour celle-ci qui semble sous-tendre la perception de la catégorie gémignée ;
4. L'effet perceptif du silence acoustique plus long et l'étendue de contact plus large pour la gémignée est renforcé par une constriction pharyngale plus large pour la gémignée, avec une aperture labiale plus étroite pour cette dernière ;
5. Toute modification de ces paramètres articulatoire-acoustiques cités ci-dessus peuvent entraîner une bascule perceptive d'une catégorie simple (image 635) à une catégorie gémignée (image 636).

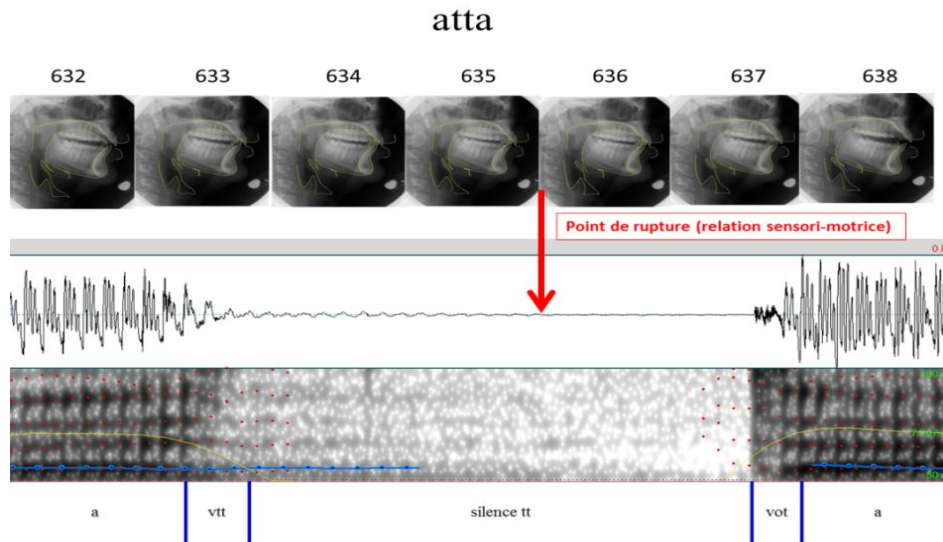


Figure 16: Correspondance entre les frontières de perception et de production.

5. Conclusions

Un certain nombre d'hypothèses a été formulé, aussi bien dans le domaine acoustique que dans le domaine articuloire. Il s'agissait essentiellement d'identifier des indices acoustiques et articuloires potentiels qui pourraient sous-tendre le trait phonologique de la gémination.

Sur le plan acoustique, nos valeurs intersegmentales nous ont montré que :

- 1) La tenue consonantique a été systématiquement plus longue pour les consonnes géminées que pour les simples, tous locuteurs, contextes consonantiques et conditions de vitesse d'élocution confondus;
- 2) Le contexte des voyelles adjacentes ne semble pas contribuer à la distinction entre simples et géminées, sur la dimension temporelle, pour le tarifit.

D'après nos valeurs intrasegmentales, nous avons pu constater que la durée du silence acoustique pour les sourdes et la durée de l'occlusion consonantique pour les sonores, à deux intervalles intrasegmentaux consonantiques, sont des indices principaux de l'opposition phonologique de la gémination. Ces valeurs nous ont montré aussi que ni le VOT, ni le VTT ne contribuent à cette opposition simple/géminée, et que la compression provoquée par l'augmentation de la vitesse d'élocution concerne tous les segments. Malgré cette compression, nos catégories restent distinctes.

Sur le plan articuloire, notre étude cinéradiographique sur le phénomène phonologique de la gémination du tarifit nous a montré que :

- 1) Les différences de durée entre les consonnes géminées et les consonnes simples, observées sur le plan acoustique, ont été visibles au niveau du *contrôle temporel* des paramètres articuloires retenus pour cette investigation, puisque les occlusions articuloires et la tenue des constriction articuloires ont toutes été systématiquement plus longues pour les géminées que pour les simples ;
- 2) Des caractéristiques articuloires 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 ;
- 3) Les deux locuteurs ont comparativement les mêmes stratégies articuloires, en termes de contrôle spatiotemporel, pour réaliser les différences entre consonnes simples et consonnes géminées ;
- 4) Des stratégies anticipatoires, tout comme des faits liés à la rétention spatiotemporelle des gestes, servent à faire émerger correctement les géminées ;
- 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.

En somme, 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 l'importance des indices acoustiques robustes, que nous avons signalés 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) pour l'émergence d'oppositions phonologiques. 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.

Les géminées en 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 en tarifit, 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.

Au niveau perceptif, après l'analyse de nos données, nous avons constaté que :

1. Le contrôle de la durée consonantique est l'indice principal qui permet la perception de l'opposition phonologique de la gémination ;
2. Un point de rupture au-delà duquel une géminée est perçue comme simple et une simple est perçue comme une géminée peut être identifié dans le signal temporel ;
3. Le point de rupture observé au niveau temporel varie selon la vitesse d'élocution ;
4. Cependant, ce point de rupture perceptif est toujours lié à des gestes spécifiques supraglottiques : une étendue de contact plus large pour les géminées, une différence dans la taille de la constriction pharyngale et une ouverture labiale plus réduite pour les géminées.

Références bibliographiques

- 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. (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.
- 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.
- Archambault, D. (1985), *Production et perception de réductions de surface en français québécois* (Thèse de doctorat). Université de Montréal, Canada.
- 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. (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., & 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.
- Berger, M. O., & Laprie, Y. (1996), Tracking articulators in X-ray images with minimal user interaction: Example of the tongue extraction. In *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing* (Vol. 2, pp. 289 – 292). Lausanne, Switzerland.
- 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.
- Bouarourou, F. (2014), *La gémination en tarifit : considérations phonologiques, études acoustique et articulatoire* (Thèse de doctorat). Université de Strasbourg, France.
- Browman, C. P., & Goldstein, L. (1989), Articulatory gestures as phonological units. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 99/100, 69–101.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Han, M. S. (1994), Acoustic manifestations of mora timing in Japanese. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 96(1), 73–82.
- Hankamer, J., Lahiri, A., & Coreman, J. (1989), Perception of consonant length: voiceless stops in Turkish and Bengali. *Journal of Phonetics*, 17(4), 283–298.
- 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.
- Idemaru, K., & Guion, S. G. (2008), Acoustic covariants of length contrast in Japanese stops. *Journal of the International Phonetic Association*, 38(02), 167–186.
- 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*.
- 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.
- Koya, T. (2015), *Etude de la gémination en japonais (Mémoire de Master 2)*. Université de Strasbourg, France.
- 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.
- Lahiri, A., & Hankamer, J. (1988), The timing of geminate consonants. *Journal of Phonetics*, 16(3), 327–338.
- McKay, G. (1980), Medial stop gemination in Rembarrnga: a spectrographic study. *Journal of Phonetics*, 8, 343–352.

- 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.
- Lieberman, A. M., & Mattingly, I. G. (1985), The motor theory of speech production revised. *Cognition*, 21, 1–36.
- Lindblom, B. (1987), Absolute Constancy and Adaptive 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.
- 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.
- Louali, N., & Puech, G. (1994), Les consonnes “fortes” du berbère : indices perceptuels et corrélat phonétique. In *Actes du colloque XXèmes journées d’Etudes sur la Parole* (pp. 459–464). Trégastel.
- McKay, G. (1980), Medial stop gemination in Rembarnga: a spectrographic study. *Journal of Phonetics*, 8, 343–352.
- Maeda, S. (1988), Improved articulatory models. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 84(S1), S146–S146.
- Munhall, K., & Löfqvist, A. (1992), Gestural aggregation in speech: Laryngeal gestures. *Journal of Phonetics*, 20, 111–126.
- Ofuka, E. (2003), Sokuon /tt/-no chikaku: akusento gata-to sokuon/hisokuongo-no onkyooteki tokuchoo niyuru 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.
- 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.
- Pickett, J. M. & Decker, L. R. (1960), Time factors in the perception of a double consonant, *Language and Speech*, 3: 11-17.
- Peirce, J. W. (2009), Generating Stimuli for Neuroscience Using PsychoPy. *Frontiers in Neuroinformatics*, 2.
- Peirce, J. W. (2007), PsychoPy-Psychophysics software in Python. *Journal of Neuroscience Methods*, 162(1–2), 8-13.
- Perrier, P., Payan, Y., Buchaillard, S. I., Nazari, M. A., & Chabanas, M. (2011), Biomechanical models to study speech. *Faits de Langues*, 37, 155–171.
- Port, R., Dalby, J., & O’Dell, M. (1987), Evidence for mora timing in Japanese. *Journal of the Acoustical Society of America*, 81, 1574–1585.
- 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.
- Rochet, B. & Rochet, A. (1994), The Perception of the single-geminate consonant contrast by native speakers of Italian and anglophones. In *Proceedings of the XIII International Congress of phonetic sciences*, (vol. 3: 616-619). Stockholm, Sweden: The Royal Institute of Technology and Stockholm University.
- 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.
- 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. et al. (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., & 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 techniques* (pp. 253–273). New York and Hove: Psychology Press.
- 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.
- 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.
- Vaxelaire, B. (1995), 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., & 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.
- 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).