

# Etude expérimentale de l'influence du palais sur les caractéristiques cinématiques des gestes linguaux.<sup>1</sup>

*Susanne Fuchs<sup>1,2</sup>, Pascal Perrier<sup>3</sup> et Christine Mooshammer<sup>1</sup>*

1: Zentrum für Allgemeine Sprachwissenschaft - Berlin, Germany

2: Queen Margaret University College, Edinburgh, UK

3: Institut de la Communication Parlée, UMR CNRS 5009, Grenoble, France

[fuchs@zas.gwz-berlin.de](mailto:fuchs@zas.gwz-berlin.de), [perrier@icp.inpg.fr](mailto:perrier@icp.inpg.fr)

## Résumé

En exploitant des données articulatoires recueillies par magnétométrie et par électropalatographie, nous avons étudié quelle pouvait être l'influence potentielle du palais sur les caractéristiques cinématiques des mouvements de l'apex de la langue. Pour cela nous nous sommes appuyés sur un corpus de séquences Voyelle – Consonne de l'Allemand, où la consonne est une plosive alvéolaire voisée ou sourde. Les propriétés cinématiques étudiées sont la symétrie du profil de vitesse du geste de fermeture vers la consonne ainsi que la valeur correspondante du pic de décélération. Nos résultats ne permettent pas de mettre en évidence un quelconque rôle des appuis palataux latéraux. Par contre, nous avons pu montrer que l'instant d'apparition des contacts palataux centraux, correspondant au début de la fermeture consonantique était clairement corrélé avec l'instant de diminution de la vitesse du mouvement. L'initiation du contact langue – palais dans sa partie centrale semble être donc être à l'origine de la diminution soudaine de la vitesse de la langue ce qui entraîne une dissymétrie du profil de vitesse. Ceci corrobore l'hypothèse selon laquelle le geste vers une consonne ne serait pas dirigé vers une cible située au niveau du palais, mais plutôt vers une cible virtuelle située au-delà du palais. Ainsi le geste consonantique ne serait pas celui d'un positionnement de la langue au contact du palais, mais plutôt celui d'une collision entre la langue et le palais.

## 1. Introduction

Une démarche désormais classique et bien éprouvée pour l'étude du contrôle moteur de la parole consiste à mesurer des paramètres cinématiques caractérisant les mouvements des articulateurs et à interpréter leur distribution et leurs variations en relation avec la tâche linguistique et/ou les conditions d'élocution (qualité de l'articulation, débit de parole...). D'incontestables avancées dans la connaissance du contrôle de la parole ont ainsi pu être obtenues (voir en particulier [1], [2], [3]), mais, dans le même temps, certaines limites méthodologiques ont été mises en évidence. En effet, les mouvements de la parole ne sont pas toujours une image directe du contrôle sous-jacent, dans la

---

<sup>1</sup> Une version simplifiée de cet article a été présentée à Eurospeech 2001 à Aalborg (Danemark) en septembre 2001

mesure où un certain nombre de facteurs physiques tels que la pression d'air dans le conduit vocal [4], les contacts palataux ou encore les propriétés biomécaniques intrinsèques des articulateurs ([5], [6]) peuvent aussi contribuer, parfois de manière déterminante, au déroulement spatio-temporel des trajectoires articulatoires. Dans cet article, nous nous intéresserons plus spécifiquement à un de ces facteurs physiques, en l'occurrence les contacts palataux, et nous verrons dans quelle mesure leur impact peut être décisif dans les caractéristiques des patrons cinématiques mesurés.

L'influence du palais sur la forme et le positionnement de la langue dans le conduit vocal a déjà été étudiée par différents chercheurs et sous des angles différents. C'est ainsi que Fujimura et Kakita [7], puis Perkell [8], ont suggéré que les locuteurs pourraient s'aider des contacts palataux et d'un « effet de saturation » de l'action antéro-postérieure du muscle génioglosse postérieur, pour simplifier le contrôle de l'articulation de la voyelle fermée d'avant [i]. Stone [9] a, quant à elle, insisté sur le fait qu'un certain nombre de formes linguales, telles celles que l'on observe pour quelques articulations dans la région alvéolaire, ne pourraient pas être produites dans un espace géométrique non borné. Selon cet auteur, c'est en effet parce que la langue prend appui sur le palais que de telles formes sont possibles. Stone a aussi émis l'hypothèse que les locuteurs pourraient utiliser les contacts palataux afin de stabiliser le positionnement de la langue, ainsi que pour faciliter la coordination des mouvements de la langue et de la mandibule et pour contrôler le débit d'air et la distribution de pression de l'air dans le conduit vocal [10]. Hoole et Kühnert [11] ont étudié la variabilité intra-locuteur de la production des voyelles de l'allemand ; ils ont ainsi mis en évidence des comportements différents selon que la voyelle était fermée, et donc articulée près du palais, ou ouverte, et ils ont attribué ces différences à l'influence des contacts palataux. Perkell et al. [12] ont observé chez des locuteurs américains que les stratégies d'équivalence motrice exploitées au cours de la production de la voyelle [u], mettaient en jeu selon les locuteurs des interactions différentes entre la langue et les lèvres. Ils ont pu proposer des explications à ce phénomène en se fondant sur la forme du palais de chacun des locuteurs dans le plan coronal, et en suggérant que, compte tenu des différences de forme, l'impact acoustique d'un petit déplacement de la langue pourrait être très différent d'un locuteur à l'autre. Ce bref panorama de quelques-uns des principaux résultats publiés dans la littérature montre bien que le palais joue un rôle dans le positionnement de la langue dans le conduit vocal, et cela suggère que, de la même manière, il pourrait influencer les propriétés cinématiques de cet articulateur.

C'est dans cette perspective que nous avons effectué l'étude expérimentale dont nous présentons ici les premiers résultats. Nos objectifs étaient de proposer une évaluation quantitative de l'influence des contacts palataux sur les mouvements de la langue. Nous sommes appuyés pour cela

sur des enregistrements simultanés par électropalatographie (EPG) et électromagnéto-métrie (EMMA) de la production des consonnes plosives alvéolaires de l'allemand. Les relations existant entre les données EPG, informant sur les contacts palataux, et les propriétés cinématiques extraites des signaux EMMA sont étudiées et interprétées.

## 2. Méthode expérimentale

### 2.1. Corpus et sujets

Les mouvements linguaux et la distribution spatiale des contacts palataux ont été mesurés pour trois locuteurs de langue maternelle allemande (une locutrice SF et deux locuteurs masculins CG et JD) à l'aide respectivement de l'articulographe électromagnétique AG100 développé par Carstens Medizinzelekttronik et du système Reading EPG3. Les fréquences d'échantillonnage étaient de 100 Hz pour l'EPG et de 200 Hz pour EMMA. Le signal acoustique de parole a été enregistré sur un DAT puis numérisé à 20 KHz.

Le corpus consistait en des séquences VC ou VC<sub>ə</sub> prononcées au sein d'une phrase porteuse du type "Ich habe geCVC<sub>ə</sub> nicht geCVC erwähnt." (« J'ai dit geCVC<sub>ə</sub>, pas geCVC »), et placées soit en fin soit en milieu de mot. La consonne C était [t] ou [d], et la voyelle V était choisie parmi les voyelles tendues [i:, a:, u:] et les voyelles relâchées [ɪ, a, u]. Étant donné qu'en allemand il n'existe pas de voyelles relâchées placées devant une plosive phonologiquement voisée, la différence tendue/voisée n'a pu être étudiée que dans le contexte consonantique sourd. Chaque phrase a été répétée 10 fois par chacun des locuteurs.

### 2.2. Analyse des données

Dans cette étude, afin de décrire les évolutions temporelles de la distribution des contacts palataux et des caractéristiques cinématiques de la langue, nous avons repéré un certain nombre d'événements temporels pertinents par rapport à l'articulation des consonnes.

L'un d'entre eux, que nous appellerons *instant d'initiation de la fermeture consonantique*,  $t_{inc}$ , a été déterminé à partir de l'observation des contacts situés au centre de la coupe coronale du palais et au sein des deux premiers rangs du système EPG. Ces contacts décrivent ainsi la zone d'articulation des consonnes alvéolaires étudiées. Sur la figure 1, leur emplacement correspond à la zone délimitée par le contour elliptique. L'initiation de la fermeture consonantique correspond à l'instant où au moins deux de ces contacts deviennent actifs. S'il y avait déjà des contacts actifs dans cette région durant la production de la voyelle précédente, l'instant d'initiation de la fermeture

consonantique est déterminé par le passage de deux contacts supplémentaires de l'état inactif à l'état actif. La figure 1 montre un exemple typique de l'évolution temporelle de la distribution spatiale des contacts palataux associée à la détection de ce premier événement temporel

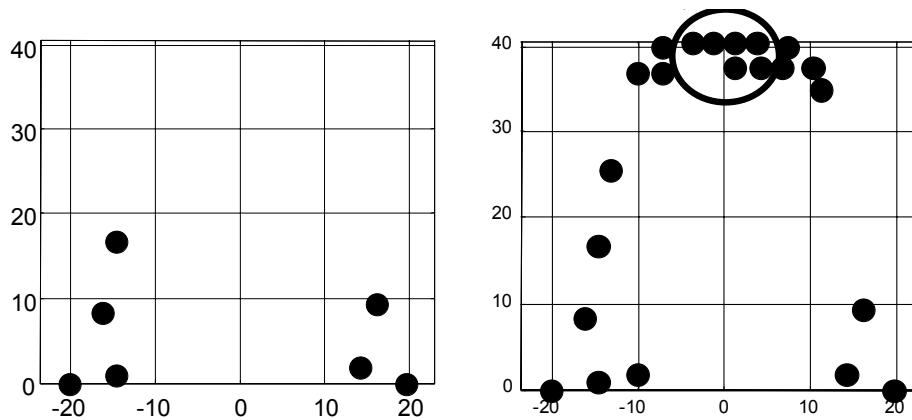


Figure 1: Exemple de l'évolution temporelle de la distribution spatiale des contacts palataux juste avant (image de gauche) et au moment (image de droite) de l'initiation de la fermeture consonantique. Le temps écoulé entre ces deux images est de 10 ms. L'ellipse tracée sur l'image de droite marque les limites de la zone considérée pour détecter la fermeture consonantique. Les axes sont tous deux en mm.

Les autres événements ont été repérés sur les données de mouvement acquises avec EMMA. Pour cela, nous avons pris en considération le transducteur placé sur l'apex de la langue à 1 cm environ de l'extrémité de celle-ci, afin, encore une fois, d'être le plus proche possible de la zone d'articulation des consonnes étudiées. La vitesse tangentielle et l'accélération tangentielle ont été ainsi calculées à chaque instant par le calcul classique des différences finies sur 3 échantillons consécutifs, et les données résultantes ont été lissées par un filtrage passe-bas de fréquence de coupure égale à 20 Hz. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés au geste de fermeture consonantique (le geste VC) dont l'empan temporel a été caractérisé à partir l'évolution de la vitesse du transducteur considéré en fonction du temps (on parle de « profil de vitesse »). Nous avons alors repéré les événements suivants (cf. Figure 2) :

- L'instant d'initiation du geste de fermeture consonantique,  $t_{on}$ , correspond au dernier passage par zéro de la vitesse précédant un net mouvement d'élévation de la langue ; il convient de noter que dans un certain nombre de cas, le passage par zéro n'a pas été effectif, et a été approché par le passage par un minimum de vitesse d'amplitude proche de zéro ; nous appellerons  $V_{on}$  l'amplitude de la vitesse, éventuellement nulle, à cet instant.

- L'instant de fin du geste de fermeture consonantique,  $t_{off}$ , a été déterminé par le premier passage par zéro de la vitesse consécutif à ce net mouvement d'élévation de la langue ; comme pour l'événement précédent, le passage par zéro n'a pas toujours été effectif ; nous appellerons  $V_{off}$  l'amplitude de la vitesse à cet instant.
- L'instant d'occurrence du pic de vitesse,  $t_{max}$ , correspond à l'instant où la vitesse atteint sa valeur maximale  $V_{max}$  dans l'intervalle temporel  $[t_{on}; t_{off}]$ . L'intervalle temporel  $[t_{on}; t_{max}]$  définit la *phase d'accélération*, l'intervalle  $[t_{max}; t_{off}]$  la *phase de décélération*.
- Conformément à la démarche préconisée par Kroos *et al.* [13], nous avons repéré deux événements supplémentaires au cours de la phase d'accélération. Il s'agit de  $t_{low1}$  et  $t_{up1}$  qui correspondent aux instants où la vitesse dépasse respectivement le seuil des 20 % et celui des 80% de la variation globale de vitesse ( $V_{max} - V_{on}$ ).
- Deux événements similaires,  $t_{up2}$  et  $t_{low2}$ , ont été choisis dans la phase de décélération pour marquer les passages en dessous des seuils respectifs 80% et 20% de la variation globale de vitesse ( $V_{max} - V_{off}$ ).
- Enfin l'instant d'occurrence du pic de décélération,  $t_{dec}$ , a été détecté. Si deux pics de décélération étaient visibles, nous avons retenu celui qui avait la plus forte amplitude, et si les amplitudes n'étaient pas significativement différentes, nous avons pris en compte le premier sur l'échelle des temps.

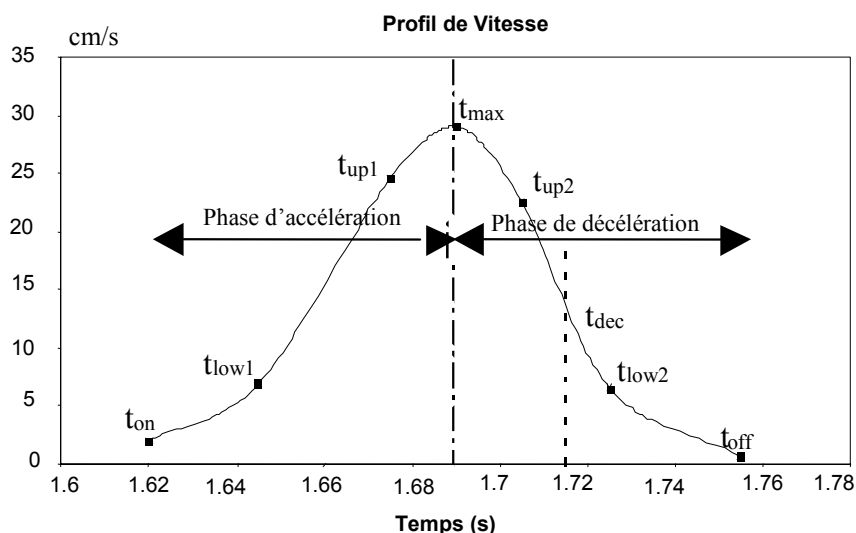


Figure 2: Les évènements temporels définis à partir du profil de vitesse du geste de fermeture consonantique.

Pour chacun de ces événements temporels, l'importance de la zone de contact entre la partie apicale de la langue et le palais a été mesurée grâce au calcul d'un *indice de contact antérieur*, déterminé comme le pourcentage de contacts actifs dans la moitié antérieure du système EPG.

Enfin, afin de pouvoir comparer sommairement le geste de fermeture consonantique déplaçant la langue vers le palais (geste VC), et le geste d'ouverture précédent, éloignant la langue du palais pour rejoindre la voyelle V, nous avons aussi mesuré l'amplitude du pic de décélération de ce dernier geste.

### 3. Résultats

#### 3.1. Etude de la symétrie/asymétrie des profils de vitesse

L'interprétation des caractéristiques de symétrie ou d'asymétrie du profil de vitesse est classiquement utilisée dans la littérature pour inférer des hypothèses sur le contrôle moteur des gestes appris en général, et de ceux de la parole en particulier. Adams *et al.* [2] ont proposé un indice, appelé TTP, pour mesurer quantitativement cette symétrie. Il correspond à la proportion que représente la durée nécessaire pour atteindre le maximum de vitesse (c'est-à-dire la phase d'accélération) dans la durée globale du mouvement. Pour nos données, cet indice se calcule donc très simplement selon la formule :

$$TTP = (t_{\max} - t_{\text{on}}) / (t_{\text{off}} - t_{\text{on}}).$$

Nous avons alors procédé à une analyse de la variance (ANOVA) sur la distribution des valeurs de TTP calculées pour chaque séquence et pour chaque locuteur. La variance de nos données est susceptible d'être influencée par 5 facteurs indépendants :

- Le locuteur (SF, CG, JD) ;
- Le trait voisé/non voisé de la consonne ([t] *versus* [d]) ;
- Le lieu d'articulation de la voyelle ([i:/I] *versus* [a:/a] *versus* [u:/u]) ;
- Le trait tendu/relâché de la voyelle ([i:] *versus* [I] ; [a:] *versus* [a] ; [u:] *versus* [u])
- La position de la consonne dans le mot (médiane *versus* finale).

Le facteur « locuteur » s'est avéré avoir une influence significative sur nos données ( $p < 0.001$ ), mais une analyse *post-hoc* a aussi montré qu'il n'existait pas de différence significative entre CG et JD. Deux observations majeures ont pu être faites pour l'ensemble de nos locuteurs :

- La position de la consonne dans le mot n'a pas d'influence significative ; par conséquent nous ne ferons plus de distinction entre ces deux types de consonnes dans le reste de notre étude.

- Le trait tendu/relâché a une influence significative ( $p < 0.0001$ ) pour [u] et [a].

Par ailleurs, quelques facteurs ont joué un rôle significatif sur la variabilité des données pour deux sujets seulement, sans que cette constatation puisse être généralisée à l'ensemble des locuteurs :

- Le trait tendu/relâché a une influence significative pour [i] pour les locuteurs SF et CG.
- Le lieu d'articulation des voyelles a une influence significative ( $p < 0.0001$ ) pour les locuteurs CG et JD.
- Enfin, le trait voisé/non voisé a une influence significative pour les locuteurs SF et JD.

Pour mieux comprendre la nature des différences ainsi observées, nous avons calculé pour chaque locuteur et pour chacune des séquences, un profil de vitesse moyen échantillonné à chacun des sept événements temporels représentés sur la figure 2. Nous avons pour cela mesuré, pour chaque répétition, les valeurs de la vitesse associées aux différents événements, et nous avons calculé les valeurs moyennes de ces 7 mesures pour les 10 répétitions d'une même séquence. Puis nous avons normalisé l'échelle des temps par rapport à la durée totale du geste de fermeture consonantique ( $t_{off} - t_{on}$ ), ceci afin d'éliminer l'effet potentiel de la variabilité du débit d'élocution d'une répétition à une autre. Nous avons ainsi obtenu, pour chaque répétition, 7 valeurs temporelles normalisées, dont nous avons ensuite calculé les valeurs moyennes pour les dix répétitions d'une même séquence. Finalement nous obtenons donc pour chacune des séquences du corpus un profil de vitesse moyen. Ce profil est représenté sur une échelle des temps normalisée par rapport à la durée du geste de fermeture consonantique, et à des instants correspondant à des moyennes calculées sur les positions des 7 événements donnés à la figure 2.

La figure 3 représente les profils de vitesse ainsi obtenus pour les 3 sujets pour la consonne [t], en différenciant les courbes selon (1) le lieu d'articulation de la voyelle (courbe continue *versus* pointillée *versus* tiretée) et (2) le trait tendu/relâché de la voyelle (courbe en trait gras *versus* normal). On peut ainsi voir plus concrètement comment pour cette consonne, au-delà des différences entre locuteurs et entre voyelles, l'allure des profils de vitesse varie avec le trait tendu/relâché pour les voyelles [u] et [a] : en présence de voyelles tendues, le maximum de vitesse arrive plus tardivement. Notons cependant que pour la locutrice SF, le profil de vitesse est quasi symétrique en présence des voyelles tendues et dissymétrique (incliné vers la gauche) en présence des voyelles relâchées, alors que pour les locuteurs CG et JD, c'est l'inverse, le profil de vitesse étant dissymétrique (incliné vers la droite) en présence des voyelles tendues. On peut aussi vérifier que pour les locuteurs SF et CG, comme cela a été dit plus haut, l'impact du trait tendu/relâché

existe aussi pour la voyelle [i], mais de manière moins nette que pour les deux autres voyelles étudiées. Ceci a pour conséquence que le profil de vitesse observé en contexte [i:/I] est globalement plus symétrique qu'en présence des autres voyelles considérées.

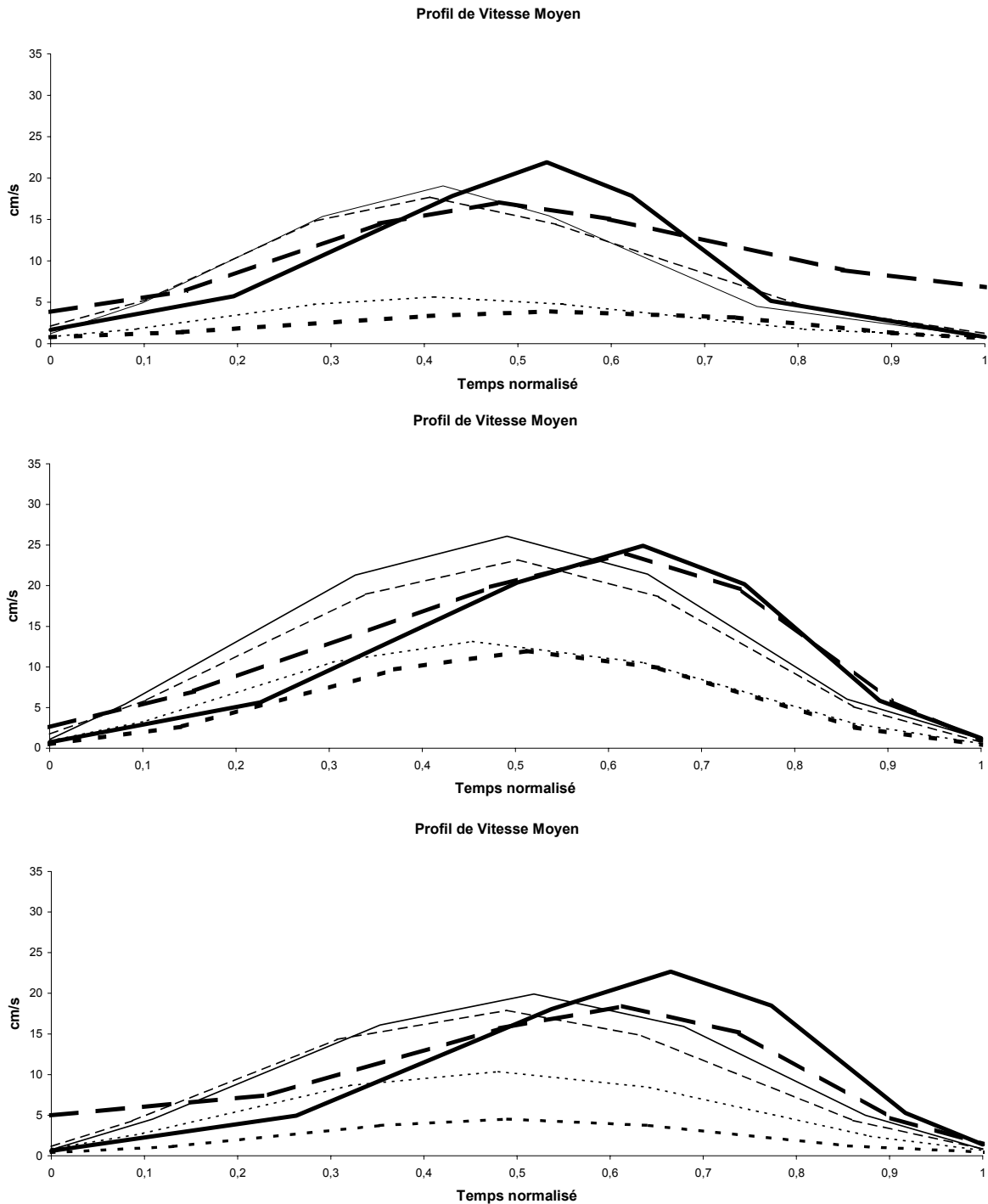


Figure 3 : Profils de vitesse moyens pour [t]. En haut : Locuteur SF ; au milieu : Locuteur CG ; en bas : Locuteur JD. Les courbes en traits gras correspondent aux voyelles tendues, les autres aux voyelles relâchées. Traits continus : voyelles [a:/a] ; Traits pointillés : voyelles [i:/I] ; Traits discontinus : voyelles [u:/u]



La figure 4 montre les profils de vitesse obtenus pour [d] en présence de voyelles tendues. Pour les trois locuteurs nous observons des profils dissymétriques inclinés à droite, similaires à ceux de la consonne [t] pour les locuteurs CG et JD. L'impact du trait de voisement se caractérise donc essentiellement par une ampleur différente de la dissymétrie, en particulier pour SF.

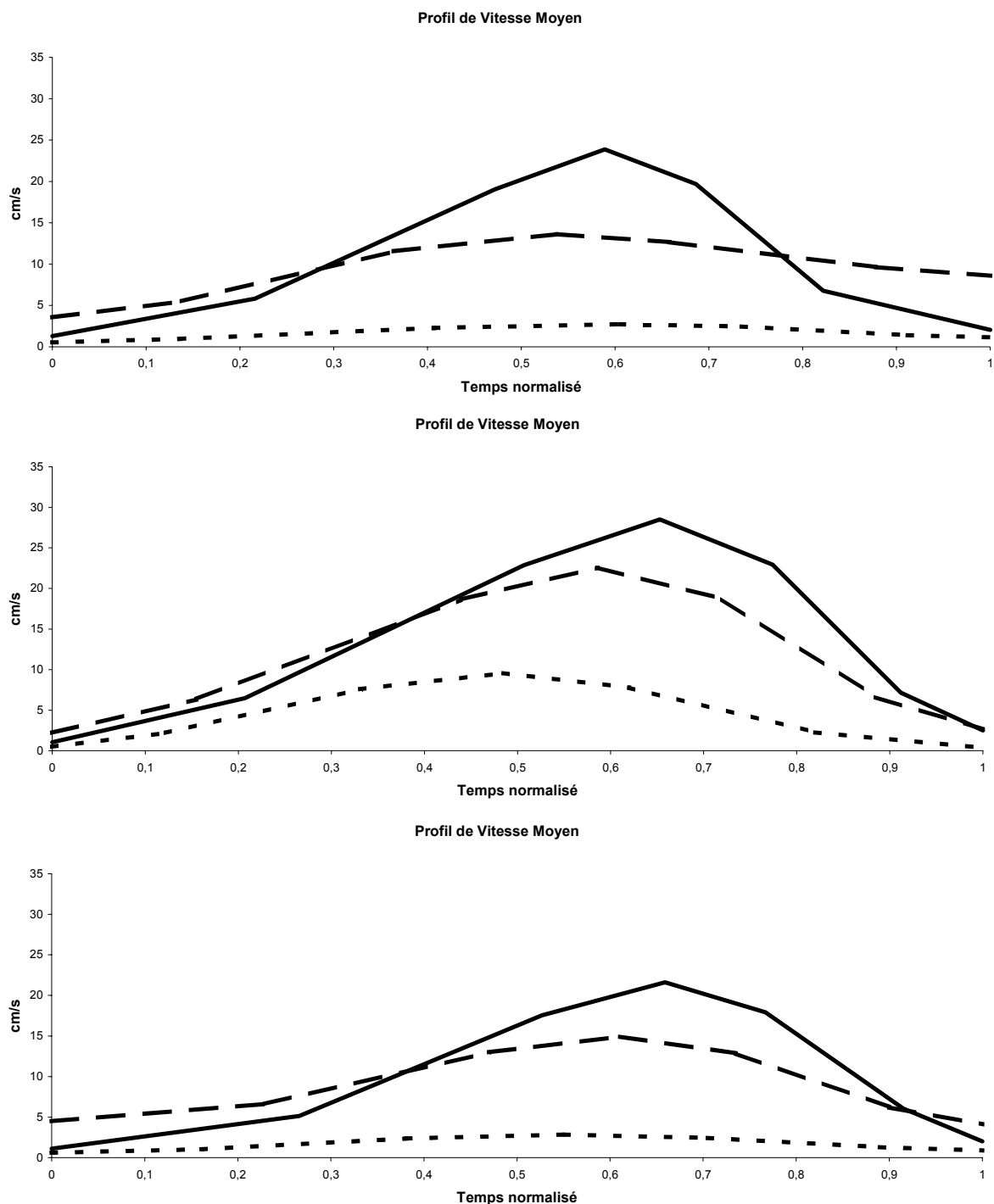


Figure 4 : Profils de vitesse moyens pour [d]. En haut : Locuteur SF ; au milieu : Locuteur CG ; en bas : Locuteur JD. Trait continu : voyelle [a:] ; Trait pointillé : voyelle [i:] ; Trait discontinu : voyelle [u:]

Il résulte de ces observations que, en termes d'impact sur l'allure du profil de vitesse, le facteur le plus significatif est le trait tendu/relâché. C'est donc à ce facteur de variabilité que nous nous limiterons dans le reste de notre étude.

### **3.2. Relations entre le nombre des contacts palataux et les propriétés cinématiques des mouvements linguaux.**

D'un point de vue théorique, l'influence potentielle des contacts palataux sur la cinématique de la pointe de la langue peut avoir deux origines. Les contacts latéraux peuvent introduire des frottements qui, sans stopper le mouvement, peuvent le ralentir. Par ailleurs, les contacts centraux, situés à proximité du plan sagittal, vont stopper le mouvement dans la direction verticale, et, par voie de conséquence, ils sont susceptibles d'affecter de manière sensible toutes les propriétés cinématiques de la partie de la langue située à proximité de la zone de contact.

Pour cette partie de notre étude, nous avons dû limiter notre analyse aux données recueillies sur les locuteurs CG et SF. En effet, pour le locuteur JD, de nombreuses mesures se sont avérées être à l'évidence inexactes, à cause de fausses détections de contacts dues probablement à une trop grande sécrétion de salive par ce locuteur.

Nous avons d'abord analysé l'*indice de contact antérieur* défini dans la partie 2.2. Pour les deux locuteurs pas ou peu de contacts ont été détectés au cours du geste de fermeture consonantique en provenance des voyelles [a:/a] et [u:/u] tant que le pic de vitesse n'était pas atteint. On peut en conclure que, en provenance de ces deux voyelles, la phase d'accélération du geste de fermeture consonantique s'effectue sans que le palais n'influence le mouvement. Ce n'est par contre pas le cas en contexte gauche [i:/I]. En effet, pour le locuteur CG environ 10% des contacts palataux sont actifs tout au long de cette phase d'accélération. Pour la locutrice SF ce pourcentage est encore plus élevé et se situe entre 10 et 25 %.

La présence de ces contacts pourraient être à l'origine de la faible amplitude des pics de vitesse observés pour les voyelles [i:/I] comparés aux autres voyelles. Ce phénomène est clairement visible sur les figures 3 et 4. Les importants coefficients de corrélation trouvés aux instants  $t_{\max}$  entre la valeur de l'indice de contact antérieur et l'amplitude du pic de vitesse (-0.680 pour CG, et -0.872 pour SF;  $p < 0.0001$ ) vont dans le sens de cette hypothèse. Cependant une explication alternative est aussi envisageable. En effet, puisque les voyelles [i:/I] sont articulées à proximité de la zone alvéolaire, l'amplitude du mouvement nécessaire pour atteindre la consonne alvéolaire suivant est faible. Par conséquent, pour une durée de transition équivalente à celle que l'on aurait pour [a:/a] et [u:/u], la vitesse requise pour le geste de fermeture consonantique est plus faible. Il n'est donc pas

possible, en l'état actuel de nos données, de conclure de manière définitive sur le rôle qu'auraient les contacts palataux dans les gestes de fermeture consonantique en provenance de [i] ou [I].

En ce qui concerne [u:/u] et [a:/a] l'indice de contact antérieur croît au cours de la phase de décélération. Cependant, jusqu'à l'instant d'initiation de la fermeture consonantique  $t_{inc}$  (cf. partie 2.2 pour la définition) qui, rappelons le, est détecté à partir de contacts centraux situés au centre de l'ellipse sur la figure 1, les contacts sont essentiellement latéraux, et on n'observe pas d'effet significatif sur la vitesse. Ce n'est plus le cas lorsque l'instant  $t_{inc}$  est dépassé et que les contacts centraux augmentent sensiblement. On peut en effet noter dès cet instant une modification sensible de la vitesse. Ceci est confirmé par le calcul des coefficients de corrélation entre l'instant  $t_{inc}$  et l'instant d'occurrence du pic de décélération  $t_{dec}$  (cf partie 2.2 pour sa définition), ces deux temps ayant préalablement été normalisés par rapport à la durée totale du geste de fermeture. Les résultats correspondants sont donnés dans le tableau 1 pour chacune des voyelles séparément.

*Tableau 1 : Coefficients de corrélation calculés pour chaque voyelle et chaque locuteur entre l'instant d'initiation de la fermeture consonantique et l'instant d'occurrence du pic de décélération, préalablement normalisés par rapport à la durée globale du mouvement.*

Locuteur/Voyelle	Corrélation
CG/[a]	0.689 (p<0.0001)
CG/[u]	0.660 (p<0.0001)
CG/[i]	0.544 (p<0.0001)
SF/[a]	0.929 (p<0.0001)
SF/[u]	0.943 (p<0.0001)
SF/[i]	0.860 (p<0.0001)

Ce résultat suggère que les contacts palataux centraux pourraient être à l'origine du ralentissement du geste de fermeture consonantique, et donc de la forme du profil de vitesse de ce geste dans sa phase de décélération. La comparaison des amplitudes des pics de décélération mesurées pour les gestes de fermeture consonantique avec celles des pics de décélération des gestes d'ouverture vers la voyelle précédente est un argument de plus en faveur de cette hypothèse. En effet pour toutes les voyelles, pour toutes les consonnes, et pour les deux locuteurs considérés, le pic de décélération a une amplitude significativement plus grande (p<0.0001) pour le geste de fermeture. Nous avons donc là deux résultats importants qui tendent à montrer que dans les séquences VC que nous avons étudiées, le palais serait responsable de l'arrêt du mouvement de la langue. Lors de la production des consonnes plosives alvéolaires étudiées, les contacts palataux

centraux seraient donc le résultat d'un choc mou entre la langue et le palais (on peut parler de collision), et non pas d'un mouvement de positionnement précis de la langue au contact du palais. Cette conclusion va dans le sens des observations qu'ont faites Löfqvist et Gracco [14] à partir de données EMMA sur des plosives bilabiales. Selon ces auteurs, lors de la production de ces consonnes en anglais, la lèvre inférieure se déplacerait en effet vers une position cible située au delà de la lèvre supérieure. Le contact bilabial correspondrait alors à une collision interrompant le mouvement d'élévation de la lèvre inférieure avant que la cible visée ne soit atteinte.

### **3.3. Impact du trait tendu/relâché des voyelles précédant la consonne**

Si le palais semble bien influencer le décours des gestes consonantiques étudiés, il reste à déterminer dans quelle mesure il peut aussi expliquer les différences que nous avons observées dans l'allure des profils de vitesse entre les contextes vocaliques tendus et relâchés. Rappelons que la tendance révélée par nos données est que la durée relative de la phase de décélération dans le geste de fermeture consonantique est plus courte dans un contexte vocalique tendu. Une première explication à ce phénomène pourrait donc être que le contact consonantique intervient plus tôt au cours de la phase de décélération dans ce contexte que dans le contexte vocalique relâché. Afin de tester cette hypothèse, nous avons calculé la durée séparant l'instant d'initiation de fermeture consonantique  $t_{inc}$  et l'instant d'occurrence du pic de vitesse  $t_{max}$ . Étant donnée la précision temporelle de l'échantillonnage du système EPG (100 Hz), aucune différence significative n'a pu être trouvée sur cette durée en fonction du trait tendu/relâché. Pour toutes les voyelles, et pour les 3 sujets, cette durée était comprise entre 20 et 25 ms. Par conséquent bien que nos résultats tendent à montrer que le palais influence le mouvement de la langue dans la phase de décélération, il n'existe pas d'indice suggérant que son rôle serait différent pour les contextes vocaliques tendus et relâchés.

Ainsi les origines de ces différences doivent être cherchées ailleurs, et en particulier dans la phase d'accélération du geste de fermeture consonantique. En effet, des différences significatives existent dans sa durée ( $t_{max}-t_{on}$ ). L'articulation consonantique n'intervenant pas dans cette partie du mouvement, nous l'avons vu ci-dessus, il est vraisemblable que ces différences sont dues aux variations de la forme et du positionnement de la langue associées à la distinction tendu/relâché, telles qu'elles ont été mises en évidence par Mooshammer et Fuchs [15]. Ceci fera l'objet d'études ultérieures.

## 4. Conclusion

Le recueil simultané de données électropalatographiques et de données sur les mouvements linguaux au cours de la production de séquences VC, où C est une consonne plosive aléolaire, a permis de contribuer à la clarification de l'influence que peut avoir le palais sur les propriétés cinématiques de la langue. Nos résultats suggèrent que les contacts entre la langue et le palais résulteraient d'une collision, le palais stoppant ainsi le mouvement de la langue alors qu'elle est dans sa phase de décélération. Ceci va dans le sens de l'hypothèse émise par Löfqvist et Gracco pour les plosives bilabiales de l'anglais et selon laquelle le geste articulatoire serait dirigé vers une cible située au delà de la zone de contact. Dans cette perspective, la production d'une plosive ne serait donc pas le résultat d'un mouvement dirigé vers une cible située au contact du palais.

L'influence du palais au cours de la phase de décélération du geste de fermeture consonantique est similaire pour toutes les voyelles étudiées, quel que soit leur lieu d'articulation et qu'elles soient tendues ou relâchées. Combinée à des différences de durée de la phase d'accélération, cette action constante du palais résulte en des variations des caractéristiques de symétrie du profil de vitesse selon que la voyelle précédente est tendue relâchée.

**Remerciements:** Ce travail a été soutenu par un financement de la Deutsche Forschungsgesellschaft GWZ 4/5-2(1.1). Nous tenons à remercier Alan Wrench et William Hardcastle du Queen Margaret University College à Edimbourg pour leurs commentaires et leurs suggestions sur une version précédente de ce manuscrit. Nous exprimons enfin nos sincères remerciements à nos locuteurs JD et CG pour leur patience et leur collaboration.

## 5. Bibliographie

- [1] Munhall, K.G., Ostry, D.J. & Parush, A. (1985), "Characteristics of velocity profiles of speech movements", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 11, pp. 457-474.
- [2] Adams, S.G., Weismer, G. & Kent R.D. (1993), "Speaking rate and speech movement velocity profiles", *Journal of Speech and Hearing Research*, Vol. 36, pp. 41-54.
- [3] Shaiman, S., Adams, S.G. & Kimelman, M.D.Z (1997). Velocity profiles of lip protrusion changes in speaking rates. *Journal of Speech and Hearing Research*.

- [4] Svirsky, M.A., Stevens, K.N., Matthies, M.L., Manzella, J., Perkell, J.S. & Wilhelms-Tricarico, R. (1997) Tongue surface displacement during bilabial stops. *Journal of the Acoustical Society of America*, 102(1), 562-571
- [5] Payan, Y. & Perrier, P. (1997). Synthesis of V-V Sequences with a 2D biomechanical tongue model controlled by the Equilibrium Point Hypothesis. *Speech Communication*, 22 (2/3), 185-205.
- [6] Perrier, P., Payan, Y., Perkell, J.S, Zandipour, M. & Matthies, M. (1998). On Loops and Articulatory Biomechanics. *Actes de la 5<sup>ème</sup> International Conference on Spoken Language and Processing*. (Vol 2., pp. 421-424). Sidney Australia.
- [7] Fujimura, O. & Kakita, Y. (1979). Remarks on the quantitative description of the lingual articulation. In B. Lindblom and S. Öhman (Eds.) *Frontiers in Speech Communication Research* (pp. 17-24). London, UK: Academic Press.
- [8] Perkell, J.S.(1996) Properties of the tongue help to define vowel categories: hypotheses based on physiologically-oriented modeling. *J. of Phonetics*, 24, 3-22
- [9] Stone, M. (1991). Toward a model of three-dimensional tongue movement. *Journal of Phonetics*, 19, 309-320
- [10] Stone, M. (1995): How the tongue takes advantage of the palate during speech. In Bell-Berti F. and Lawrence J. R. (eds.): *Producing Speech: Contemporary Issues for Katherine Safford Harris* (pp. 143-153). New York: AIP Press
- [11] Hoole, P., & Kühnert, B. (1995): Patterns of lingual variability in German vowel production. *Proc. of XIIIth ICPHS, Stockholm, Vol.2*, 442-446.
- [12] Perkell, J.S., Matthies, M., Lane, H., Guenther, F., Wilhelms-Tricarico, R., Wozniak, J. & Guiod, P.(1997) Speech motor control: acoustic goals, saturation effects, auditory feedback and internal models. *Speech Communication*, 22, 227-250.
- [13] Kroos, Ch., Hoole, Ph., Kühnert, B. & Tillmann, H. (1997): Phonetic evidence for the phonological status of the tense-lax distinction in German. *FIPKM 35*, 17-26
- [14] Löfqvist, A. & Gracco, V.L. (1997). Lip and jaw kinematics in bilabial stop consonant production. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 40(4), 877-893
- [15] Mooshammer, C. & Fuchs, S. (in press). Stress distinction in German: simulating kinematic parameters of tongue tip gestures. *Journal of Phonetics*.