

L'implication des contraintes motrices dans « l'effet Labial Coronal »

Amélie Rochet-Capellan et Jean-Luc Schwartz

Institut de la Communication Parlée

INPG / Université Stendhal/ CNRS UMR 5009, Grenoble, France

Amelie.rochet-capellan@icp.inpg.fr

jean-luc.schwartz@icp.inpg.fr

ABSTRACT

Stability of LC (Labial-Coronal) and CL CVCV sequences was compared using the paradigm of reiterant speech with rate increase. The rationale was that rate increase would lead the articulatory system towards its most stable coordination mode. A first study analyzed the acoustic productions of 28 French speakers. Then, a second study focused on the articulatory coordination for 5 speakers. Results show that the repetition of LC and CL CVCV sequences could both evolve towards an LC (/pata/->/patá->/ptá) or a CL (/pata/->/páta->/tpá) attractor. Yet, the LC attractor is largely favored compared with the CL one. Moreover, rate increase drives lips and tongue occlusions close together on a single jaw cycle. These results provide new elements to explain the LC effect in world languages by motor control constraints.

1. INTRODUCTION

L'effet LC (Labial-Coronal) réfère au fait que les lexiques des langues contiennent environ 2.5 fois plus de CV.CV et CVC de type LC (/pata/) que CL (/tapa/) [1][2]. Cette dissymétrie émergerait avec les premiers mots [3][4]. La principale explication de ce phénomène associe l'hypothèse selon laquelle les occlusions labiales (OL) seraient plus faciles à produire que les occlusions coronales (OC) et la tendance qu'ont les systèmes moteurs à initialiser les séquences d'actions par l'action la plus simple [3]. Cette proposition repose sur la théorie « Frame then Content » stipulant que seules les oscillations verticales de la mandibule (le « frame ») seraient contrôlées dans le babillage précoce. La maîtrise des articulateurs portés (le « Content ») apparaîtrait ultérieurement [3][5]. Ainsi, les OL résulteraient d'un geste de mâchoire (« pure frames ») alors que les OC impliqueraient la superposition d'un geste de la langue. Cependant, cette hypothèse « simple first » se base sur des données développementales et n'a jamais été évaluée expérimentalement. D'autre part, les oscillations mandibulaires peuvent induire aussi bien des OC que des OL selon la morphologie du bébé et/ou la position statique de la langue [6]. De plus, chez l'adulte, les lèvres sont actives pour les OL [7]. Ces données remettent en cause la plus grande simplicité des OL et supposent des processus de coordination différents pour l'adulte par rapport au bébé.

Ces processus sont investis ici afin d'expliquer l'effet LC en termes de coordination motrice et d'économie d'énergie.

2. COORDINATION ET STABILITE

L'hypothèse « simple first » exploite l'idée communément admise que les langues favorisent les formes faciles à pro-

duire et à entendre [8]. Or, indépendamment de tout axe développemental, l'étude des systèmes moteurs montre que certaines coordinations sont plus stables – et donc, plus économiques – que d'autres. Ainsi, les chevaux adaptent leur allure à la vitesse de façon à réduire leur consommation d'énergie [9]. Des résultats analogues caractérisent la coordination bimanuelle [10]. La vitesse amènerait donc le système vers son état de coordination le plus stable. Ce constat a été utilisé en parole pour étudier la stabilité de certaines formes relativement à d'autres [11]. Ces études ont notamment montré que la répétition d'une syllabe VC évolue vers une forme CV avec l'augmentation du débit. Cette stabilité articulaire de CV pourrait expliquer sa dominance dans les langues [12][13]. Ce cadre de recherche apporte deux idées intéressantes : (1) La répétition accélérée d'une série de gestes peut réorganiser la coordination entre les articulateurs vers un mode préférentiel. (2) Les différentes synergies réalisables par un groupe d'articulateurs se caractérisent par des relations de phase [11].

3. HYPOTHESE ALTERNATIVE

Le travail rapporté ici suppose une coordination LC plus stable et donc plus économique que CL. Ainsi, la répétition accélérée de CVCV LC et CL devrait évoluer vers une forme LC du fait de deux phénomènes. (1) Les oscillations mandibulaires saturent en deçà d'un certain débit [14]. (2) L'anticipation de OC dans OL serait meilleure que l'inverse [15], favorisant un rapprochement LC plutôt que CL. Ainsi, l'accélération devrait induire une progression d'un cycle de mâchoire par syllabe à un cycle par bisyllabe avec OL qui précède OC. Ce processus est mesurable par deux indicateurs : (1) En acoustique, la voyelle après OL devrait se réduire jusqu'à disparaître ; (2) En articulatoire, la durée entre OL et OC suivante devrait être plus faible qu'entre OC et OL suivante. Enfin, la coordination constricteurs/mâchoire devrait évoluer pour permettre la production sur un seul cycle de mâchoire.

Deux études utilisant le paradigme de répétition accélérée ont testé ces hypothèses. La première investit la stabilité des formes LC et CL sur la base de données acoustiques. La deuxième décrit les processus articulatoires impliqués.

4. ETUDE ACOUSTIQUE

L'attracteur LC est-il favorisé lors de la répétition accélérée de CVCV LC et CL ?

4.1. Procédure

Les 28 participants avaient le français pour langue maternelle et n'étaient pas informés des objectifs de l'étude. La tâche consistait à accélérer puis décélérer des CVCV LC

(/pata/, /pasa/, /fata/) et CL (/tapa/, /sapa/, /tafa/) au rythme d'un carré clignotant (noir-blanc-noir-...). Un programme informatique contrôlait l'affichage du carré au centre d'un écran et l'enregistrement du son (16 kHz). La durée du carré débutait à 300 ms et diminuait de manière linéaire pour atteindre 125 ms au bout de 4 s et 50 ms au bout de 8 s. Elle ré-augmentait ensuite symétriquement pour la décélération. Le but n'était pas de contrôler précisément le débit mais d'homogénéiser la progression et d'amener le locuteur à un débit maximal. La consigne insistait sur la nécessité d'aller vite et de poursuivre en dépit de toutes transformations perçues. Trois listes arrangeant les 6 CVCV dans des ordres aléatoires et différents pour chaque locuteur étaient passées successivement après trois items d'entraînement. Les CVCV s'affichaient à l'écran et le locuteur initialisait le flash en appuyant sur la barre d'espace.

4.2. Hypothèses et mesures

La meilleure coordination LC par rapport à CL devrait induire une réduction de la voyelle suivant la consonne labiale jusqu'à sa disparition. Soit 'LaCa' et 'CaLa' les représentations respectives des séquences LC et CL, le processus devrait être : La-Ca→LaCá→LCá et CaLa→LaCa→LaCá→LCá. Cette progression peut s'étudier en comparant l'intensité des deux voyelles. La figure 1 représente l'étiquetage des courbes d'intensité des données lors d'une progression vers une syllabe CCV. Les consonnes labiales (C_L) et coronale (C_C) sont repérées aux minima d'énergie et les voyelles (après la labiale : V_L et après la coronale : V_C), aux maxima. Chaque CVCV se caractérise par : (1) Sa durée : distance entre sa première consonne et celle du CVCV suivant. (2) La différence d'intensité entre V_C et V_L (ΔI). Ainsi, on attend des ΔI positives pour les CVCV LC et CL.

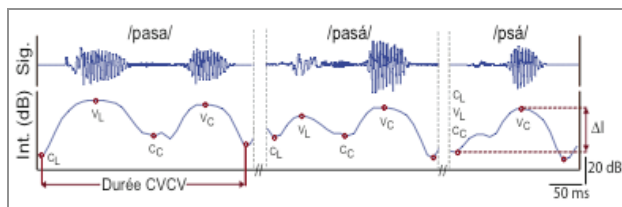


Figure 1 : Etiquetage des courbes d'intensité. Signal acoustique (en haut) et intensité (en bas) en fonction du temps (voir texte pour le détail).

4.3. Résultats

Deux locuteurs ont été exclus de l'analyse pour des problèmes techniques.

Analyse globale

La figure 2 représente ΔI en fonction de la durée des CVCV pour toutes les productions /pasa/-/sapa/ de tous les locuteurs (les résultats étant similaires pour les trois paires LC/CL). Les ΔI sont proches de zéro pour les durées supérieures à 250-300 ms. En deçà, l'intervalle de valeurs augmente avec une dominance des valeurs positives pour les LC (à gauche) comme pour les CL (à droite). Ce pattern indique une progression vers LaCá puis LCá. Cependant des valeurs négatives s'observent, particulièrement pour les CL, témoignant d'une progression vers CaLá puis CLá,

V_L est donc plus souvent réduite que V_C . L'analyse a ensuite été restreinte aux CVCV de durée en deçà de 300 ms.

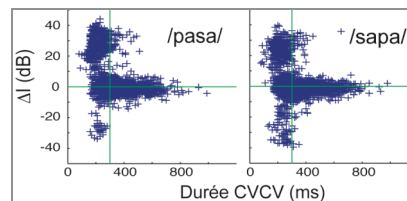


Figure 2 : ΔI en fonction de la durée des CVCV pour toutes les productions /pasa/ et /sapa/ de tous les locuteurs.

Analyse des productions rapides

Afin d'homogénéiser les groupes, l'analyse a été limitée aux sujets ayant au moins 5 CVCV de durée inférieure à 300 ms pour deux séries de chacune des 6 séquences. 21 locuteurs ont été ainsi sélectionnés. Seules les deux séries avec le plus de productions ont été analysées. La moyenne des ΔI des 42 séries est positive pour les 6 séquences et diffère significativement de 0 sauf pour /sapa/ (tableau 1, ligne 1). La répartition globale des moyennes confirme ce résultat (lignes 2 et 4). Enfin, le ratio positives/négatives des moyennes qui diffèrent significativement de 0 va de 2.6 (/tapa/) à 10.5 (/fata/) (lignes 3 et 5).

Tableau 1 : ΔI pour les productions rapides : moyennes et répartition des moyennes positives et négatives par séquence.

		Pata	Tapa	Pasa	Sapa	Fata	Tafa
Moy.		6,6 **	7,0 **	7,5 **	3,8	8,9**	8,6 **
Moy. pos.	Tot	30	30	27	21	37	33
	Sign.	16	13	16	13	21	18
Moy. neg.	Tot	12	12	15	21	5	9
	Sign.	3	5	2	4	2	4

- ** Moyenne significativement différente de 0, $p < 0.01 / 6$, ttest bilatéral

- tot. : toutes les moyennes, sign. : moyennes différant de 0, $p < 0.05 / (42 * 6)$, ttest bilatéral

Ainsi, la majorité des répétitions vont vers la forme LC. La variabilité entre les locuteurs (non détaillée ici) confirme ces tendances avec trois grand profils : (1) évolution systématique vers LC quelque soit le CVCV; (2) évolution systématique vers CL et (3) évolution bistable, qui change d'une répétition à une autre ou selon le CVCV. Cependant, le groupe LC domine largement.

Le but de la deuxième étude était de comprendre les phénomènes articulatoires sous-tendant cette stabilité LC.

5. ETUDE ARTICULATOIRE

5.1. Procédure

5 locuteurs ont participé à cette étude avec les mêmes critères de sélection que pour l'étude précédente. Le matériel comprenait les 6 CVCV de la première étude et deux items de contrôle : /papa/ et /tata/. La tâche et les consignes de répétition étaient identiques mais sans métronome. Pour chaque essai, l'expérimentateur énonçait le CVCV et le locuteur le répétait en accélérant puis en décélérant. La durée d'enregistrement variait de 10 à 16 s. Trois listes construites selon les modalités de l'expérience 1 étaient passées successivement avec une pause entre deux.

Les trajectoires de la pointe de la langue (PL), de la lèvre inférieure (LI) et de la mâchoire étaient enregistrées avec un EMA échantillonnant à 500 Hz. Un micro fixé au casque enregistrerait le son en parallèle, numérisé ensuite à 20 kHz.

5.2. Hypothèses

A débit lent, chaque constriction devrait se réaliser sur son propre cycle de mâchoire. Puis, la durée des cycles de mâchoire devrait saturer à une valeur plancher [14]. Associé à l'anticipation et à la meilleure stabilité du geste LC, ce phénomène devrait induire pour les CVCV LC et CL : (1) une bascule sur un seul cycle de mâchoire ; (2) une ré-organisation de la coordination entre les constricteurs et la mâchoire et (3) un intervalle de temps plus court de OL à OC que de OC à OL. De plus, si la bascule sur un cycle dépend de l'anticipation, elle ne devrait pas s'observer quand le même organe réalise les deux contractions. Ainsi, les durées de CVCV devraient être plus longues pour les dupliqués LL et CC que pour les LC/CL.

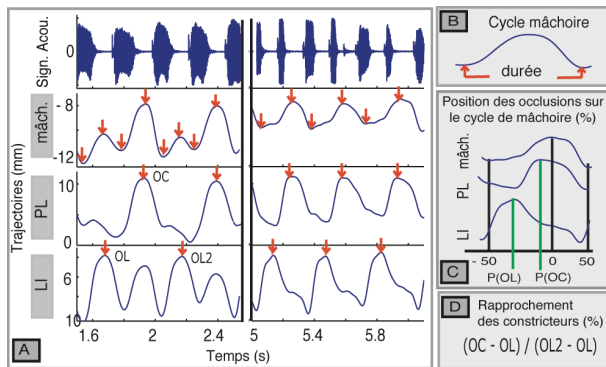


Figure 4 : Étiquetage des trajectoires (A), cycle de la mâchoire (B); mesure du phasage entre OL, OC et la mâchoire (C) et phasage entre les constricteurs (D).

5.3. Étiquetage et mesures

Les données acoustiques ont été traitées comme dans la première étude. Cet étiquetage a été utilisé pour marquer les trajectoires des constricteurs. Après filtrage (passe bas, Chebychev), les OL et les OC ont été repérés comme la plus haute position de LI entre V_L et V_C et la plus haute position de PL entre V_C et V_L . Pour les trajectoires de mâchoire, les maxima et les minima ont été repérés automatiquement puis validés manuellement (figure 4, A). Ces étiquetages ont permis de mesurer : (1) la durée des cycles de la mâchoire (figure 4, B); (2) la position de OL ($P_{(OL)}$) et de OC ($P_{(OC)}$) relativement au cycle de la mâchoire (figure 4, C) et (3) la durée de OL à OC par rapport à celle de OL à OL_2 (figure 4, D).

5.4. Résultats

Bascule sur un seul cycle de mâchoire

Sur l'exemple de la figure 4.A, OL et OC sont d'abord réalisés sur deux cycles de mâchoire (à gauche) puis sur un seul (à droite). L'étude globale de la durée de cycles de mâchoire selon les durées acoustiques de CVCV (voir étude 1) généralise la bascule sur un seul cycle. En effet, pour les LC/CL (figure 5, en haut à droite), les productions s'agglutinent autour de deux droites : ($x = 2y$) et ($x = y$). Cette double répartition montre que les CVCV de durées inférieures à environ 400 ms peuvent être réalisés sur deux ou sur un seul cycle de mâchoire. En revanche, les CVCV dupliqués requièrent tou-

jours deux cycles de mâchoire (figure 5, en haut à gauche). D'autre part, les durées de CVCV vont de 200 à 600 ms avec un pic à 250 ms pour les LC/CL et à 300 ms pour les dupliqués (figure 5, milieu). Enfin, les durées de cycles de mâchoire vont de 100 à 400 ms avec un pic à 150 ms pour les dupliqués et à 200 ms pour les LC/CL (figure 5, en bas). Ainsi, le passage sur un seul cycle permet des débits plus rapides pour des vitesses de mâchoire plus lentes.

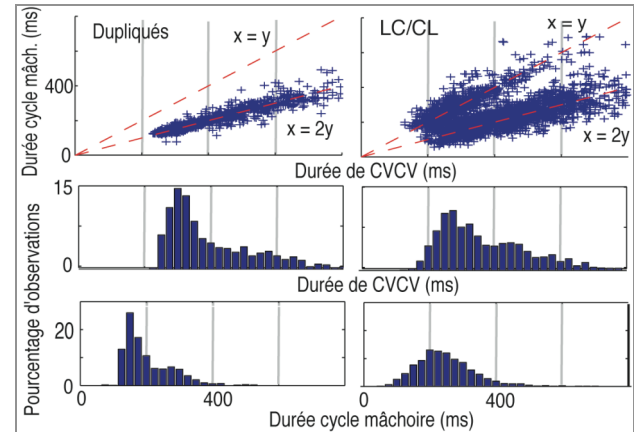


Figure 5 : Pour toutes les productions de tous les locuteurs et pour les CVCV dupliqués (à gauche) et LC/CL (à droite) : durée des cycles de mâchoire en fonction de la durée des CVCV (en haut); répartition des durées de CVCV (au milieu) et des durées de cycles de mâchoire (en bas).

Phasage entre la mâchoire et les constricteurs

Dans l'exemple de la figure 4.A, la bascule sur un cycle s'accompagne d'un déphasage entre LI et la mâchoire alors que PL restephasée avec la mâchoire. L'étude globale du phasage entre la mâchoire et les constricteurs généralise ce résultat. En effet, OC advient majoritairement autour de 0% du cycle de mâchoire normalisé (figure 6, droite). En revanche, OL est principalement à la fin du geste d'ouverture (cf. /sapa/) ou dans les 3 premiers quart du geste de fermeture (figure 6, à gauche).

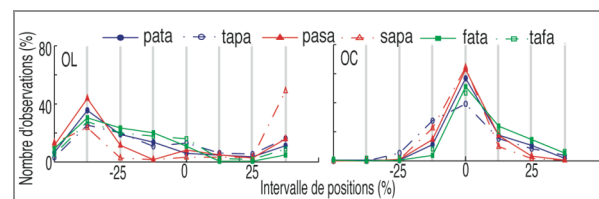


Figure 6 : Position de OL et de OC sur le cycle de mâchoire (cf. figure 4.C) quand le CVCV se réalise sur un seul cycle.

Phasage entre les constricteurs

Enfin, sur l'exemple de la figure 4.A à gauche, OL semble plus proche de OC que OC de OL_2 . Ce rapprochement montre que le locuteur évolue vers une structure LC. L'étude de la durée de OL à OC par rapport à la durée de OL à OL_2 par locuteur et par séquence (tableau 2) montre que 21/30 moyennes sont inférieures à 50%. Cette dominance se retrouve aussi si on se limite aux moyennes différant significativement de 0 avec un ratio de 16/2. Ainsi, la durée de OL à OC tend à être plus courte que celle de OC à OL_2 .

Tableau 2 : Rapport entre la durée de OL à OC et la durée de OL à OL suivant, par séquence et locuteur (en %)

	Pata	Tapa	Pasa	Sapa	Fata	Tafa
S1	49,3	53	50,8	51	53,7**	52
S2	36,3**	40,3*	41,1	43,9	30,5**	36,1**
S3	44,3*	38,6**	41,5**	42,5**	44,8	43,7**
S4	45,4*	49,5	46,3**	52	42,8**	51,4
S5	42,1**	40,8**	51,8	53,5*	37,9**	44,9*

** Moyenne significativement différente de 0, $p < 0.01 / 30$, ttest bilatéral

* Moyenne significativement différente de 0, $p < 0.05 / 30$, ttest bilatéral

Ces résultats confirment la dominance de l'attracteur LCá par rapport à CLá observée dans l'étude acoustique.

6. DISCUSSION ET CONCLUSION

Les résultats des deux études montrent que le système mâchoire-PL-LI est bistable : avec l'accélération, la répétition des CVCV LC et CL peut évoluer vers une forme LC ou CL. D'autre part, les données articulatoires vont dans le sens du principe d'économie d'énergie et d'une plus grande cohérence articulatoire de LC par rapport à CL.

6.1. Multi-déterminisme d'un système bistable

L'évolution vers l'un ou l'autre des attracteurs dépend de différents facteurs. Globalement, la progression vers LC prévaut pour les CVCV LC et CL, mais est moins nette pour les CL. Ainsi, la coordination de départ et le feed-back auditif pourrait favoriser le maintien de type CL. D'autre part, la préférence pour LC est moins marquée pour /pasa/ et /sapa/ que pour les autres couples LC/CL ce qui montre un rôle possible du mode d'articulation. Ces deux facteurs pourraient expliquer en partie les profils bistables. Enfin, le fait que certains locuteurs favorisent systématiquement la forme CL laisse supposer l'implication de variables individuelles telle que la morphologie. Cependant, l'influence de ces facteurs paraît secondaire par rapport à la meilleure cohérence articulatoire LC puisque le profil LC domine tant au niveau des profils de locuteurs que des séquences (voir aussi [16]).

6.2. Mâchoire et économie d'énergie

Le deuxième résultat important est que les CVCV LC et CL peuvent être produits sur un seul cycle de mâchoire. Ce mode de coordination n'existe pas pour les CVCV dupliqués. Communément, la syllabe CV est associée au cycle de mâchoire. Cette correspondance est au cœur de la théorie FC [5] et de la plupart des études articulatoires. Ainsi, Nelson et al.[14] ont montré que lors de la répétition accélérée d'une syllabe CV les mouvements de la mâchoire progressaient de manière à minimiser la consommation d'énergie. Ils observent aussi une saturation de la durée des mouvements d'ouverture et de fermeture à 50 ms avec une durée préférentielle de 100 ms. Des valeurs similaires sont observées ici. En effet, la durée des cycles de mâchoire (un mouvement de fermeture et un d'ouverture) descend très rarement en deçà de 100 ms. De plus, pour les CVCV LC et CL, le pic de répartition des durées de cycles est autour de 200 ms. Ainsi, le passage sur un seul cycle permet des durées de CVCV courtes sans saturation de la mâchoire et donc, d'amoindrir la consommation d'énergie.

6.3. Formes et contraintes substantielles

Ainsi, la production des CVCV avec deux constriction différentes paraît plus économique que celle des CVCV dupliqués. Ce résultat permettrait d'expliquer la dominance des associations syllabiques variant les constriction dans les lexiques des langues [1][2]. D'autre part, la cohérence articulatoire sous-tendant la forme LC (avec un geste LC plus sujet au phasage qu'un geste CL) permet non seulement d'expliquer la dominance de la forme LC dans l'étude acoustique mais aussi les asymétries observées dans les transformations verbales [17], en considérant le rôle des interactions perceptuo-motrices dans la perception en général [18] et dans les transformations verbales en particulier [19].

Enfin, replacée dans le courant de recherche visant à dériver la forme de la substance, la stabilité articulatoire des structures LC constitue un argument pouvant expliquer le fait que les langues préfèrent les structures LC aux structures CL.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Rousset, I. "From lexical to syllabic organization: Favored and disfavored co-occurrences", *Proc. XVth ICPHS, Barcelona*, pp. 715-718, 2003.
- [2] Davis, B.L., MacNeilage, P.F. and Matyear, C. "Acquisition of serial complexity in speech", *Phonetica*, 59(2-3):75-107, Apr-Sep 2002.
- [3] MacNeilage, P.F. and Davis, B.L. "On the origins of internal structure of word forms", *Science*, 288:527-531, 2000.
- [4] Locke, J. "Movement patterns in spoken language", *Science*, 288:449-451, 2000.
- [5] MacNeilage, P.F. "The frame/content theory of evolution of speech production", *Behavioral and Brain Sciences*, 21:499-511, 1998.
- [6] Vilain, A., Abry, C., Badin, P. and Brosda, S. "From idiosyncratic pure frame to variegated babbling : evidence from articulatory modelling", *ICPhS'99, San Francisco, USA*. 1999.
- [7] Munhall, K.G., Jones, J.A. (1998), Articulatory evidence for syllabic structure, *Behavioural and Brain Sciences*, 21 :4, pp.499-521.
- [8] Lindblom, B. "On the notion of possible speech sound", *J. of Phonetics*, 18 :135-152, 1990.
- [9] Hoyt, D. and Taylor, C.R. "Gait and the Energetic of Locomotion in Horses", *Nature* 292 :239-240, 1981.
- [10] Haken, H., Kelso, J.A.S., and Bunz, H. "A theoretical model of phase transitions in human hand movements", *Biological Cybernetics*. 51:347-356, 1985.
- [11] Kelso, J.A.S., Saltzman, E.L., and Tuller, B. "The dynamical perspective on speech production: Data and theory", *J. of Phonetics*, 14 :29-59 and 171-196, 1986.
- [12] Stetson, R.H. *Motor Phonetics: A study of speech movements in action*. Amsterdam: North-Holland, 1951.
- [13] de Jong, K.J. "Rate-induced resyllabification revisited", *Language and Speech*, 44: 197-216, 2001.
- [14] Nelson, W.L., Perkell, J.L. and Westbury, J.R. "Mandible movements during increasingly rapid articulations of single syllables", *J. Acoust Soc Am*, 75(3):945-951, 1984
- [15] Sato, M., Schwartz, J.-L., Abry, C., Cathiard, M.-A. & Loevenbruck, H. (sous presse). Multistable syllables as enacted percept : A source of an asymmetric bias in the verbal transformation effect. *Perception & Psychophysics*
- [16] Rochet-Capellan, A. and Schwartz, J.-L. "The Labial-Coronal effect and CVCV stability during reiterant speech production: An acoustic analysis", *ICPhS, Lisboa*, 2005.
- [17] Rousset, I., Sato, M., Schwartz, J.-L. and Vallée, N. "Un corrélat perceptif de l'effet LC", *Actes des XXVèmes Journées d'Etudes sur la Parole*, 441-444, 2004.
- [18] Schwartz, J.L., Boë, L.J., Vallée, N., and Abry, C. "The dispersion-focalization theory of vowel systems", *J. of Phonetics*, 25 :255-286, 1997
- [19] Sato, M., Baci, M., et al. "Multistable representation of speech forms: An fMRI study of verbal transformations", *NeuroImage*, 23 :1143-1151, 2004.