

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 L_aC_o (Labial-Coronal) and C_oL_a CVCV sequences was compared using the paradigm of reiterant speech with rate increase. The rationale was that speed 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 L_aC_o and C_oL_a disyllables could both evolve towards a L_aC_o (/pata/->/patá->/ptá) or a C_oL_a (/pata/->/páta->/tpá) attractor. Yet, the L_aC_o attractor is largely favored. Moreover, speed drives lips and tongue occlusions close together on a single jaw cycle. This provides 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 L_aC_o (/pata/) que C_oL_a (/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_a) seraient plus faciles à produire que les occlusions coronales (OC_o) et la tendance des 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_a résulteraient d'un geste de mâchoire (« pure frames ») alors que les OC_o 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_o que des OL_a 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_a [7]. Ces données remettent en cause la plus grande simplicité des OL_a 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 » repose sur l'idée que les langues favorisent les formes faciles à produire et à entendre [8]. Or, indépendamment de tout axe développemental, l'étude des

systèmes moteurs montre que certaines coordinations sont plus stables et 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 articulatoire 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 L_aC_o plus stable et donc plus économique que C_oL_a . Ainsi, la répétition accélérée de CVCV L_aC_o et C_oL_a devrait évoluer vers une forme L_aC_o du fait de deux phénomènes. (1) Les oscillations mandibulaires saturent en deçà d'un certain débit [14]. (2) L'anticipation de OC_o dans OL_a serait meilleure que l'inverse [15], favorisant un rapprochement L_aC_o plutôt que C_oL_a . Ainsi, l'accélération devrait induire une progression d'un cycle de mâchoire par syllabe à un cycle par bisyllabe avec OL_a qui précède OC_o . Ce processus est mesurable par deux indicateurs : (1) En acoustique, la voyelle après OL_a devrait se réduire jusqu'à disparaître ; (2) En articulatoire, la durée entre OL_a et OC_o suivante devrait être plus faible qu'entre OC_o et OL_a 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 L_aC_o et C_oL_a sur la base de données acoustiques. La deuxième décrit les processus articulatoires impliqués.

4. ETUDE ACOUSTIQUE

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 L_aC_o (/pata/, /pasa/, /fata/) et C_oL_a (/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 L_aC_o par rapport à C_oL_a devrait induire une réduction de la voyelle suivant la consonne labiale jusqu'à sa disparition (/pata/->/patá/->/ptá/). 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 coronales (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 : délai entre sa première consonne et celle du CVCV suivant. (2) La différence d'intensité entre V_c et V_l (ΔI).

ΔI devrait être positive pour les CVCV L_aC_o et C_oL_a .

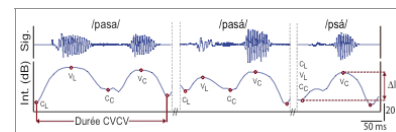


Figure 1 : Etiquetage des courbes d'intensité. Signal acoustique (en haut) et intensité (en bas) en fonction du temps (voir texte pour le détail).

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 L_aC_o / C_oL_a). Les ΔI sont proches de zéro pour les durées supérieures à 250-300 ms. En deçà, l'intervalle de valeurs augmente avec plus de valeurs positives que négatives. Ce pattern indique une progression vers un attracteur L_aC_o (cf. /sapa/, /psá/). Cependant des valeurs négatives s'observent, particulièrement pour les C_oL_a , témoignant d'une progression vers un attracteur C_oL_a (cf. /sapá/, /spá/).

L'analyse a ensuite été restreinte aux productions de durée en deçà de 300 ms.

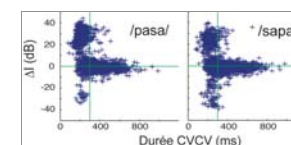


Figure 2 : ΔI en fonction de la durée des CVCV pour toutes les productions /pasa/ et /sapa/ de tous les locuteurs.

Analyse des productions rapides

Afin d'homogénéiser les groupes, l'analyse a été limitée aux sujets ayant au moins 5 productions (CVCV ou CCV) 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.	5,6 **	7,0 **	7,5 **	3,8	8,9 **	8,6 **
Moy. pos.	30	30	27	21	37	33
Moy. neg.	16	13	16	13	21	18
Moy. Tot.	12	12	15	21	5	9
Moy. neg. Sign.	3	5	2	4	2	4

** Moyenne significativement différente de 0, $p < 0.01$ / 6, test bilatéral
- tot. : toutes les moyennes, sign. : moyennes différenciant de 0, $p < 0.05$ / (42 * 6), test bilatéral

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

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

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 un 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 L_aC_o , ce phénomène devrait induire pour les CVCV L_aC_o et C_oL_a : (1) une bascule sur un seul cycle de mâchoire ; (2) une réorganisation de la coordination entre les constricteurs et la mâchoire et (3) un intervalle de temps plus court de OL_a à OC_o que de OC_o à OL_a . 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 constrictions. Ainsi, les durées des productions devraient être plus longues pour /papa/ et /tata/ que pour les L_aC_o / C_oL_a .

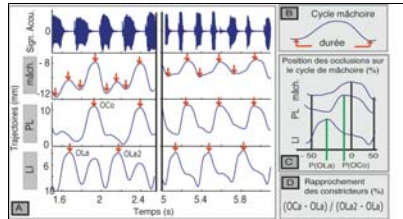


Figure 3 : Étiquetage des trajectoires (A), cycle de la mâchoire (B); mesure du phasage entre OL_a , OC_o et la mâchoire (C) et phasage entre les constricteurs (D).

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_a et les OC_o ont été repérées 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 3, A). Ces étiquetages ont permis de mesurer : (1) la durée des cycles de la mâchoire (figure 3, B); (2) la position de OL_a ($P_{(OL_a)}$) et de OC_o ($P_{(OC_o)}$) relativement au cycle de la mâchoire (figure 3, C) et (3) la durée de OL_a à OC_o par rapport à celle de OL_a à OL_a (figure 3, D).

5.4. Résultats

Bascule sur un seul cycle de mâchoire

Sur l'exemple de la figure 3.A, OL_a et OC_o sont d'abord réalisées 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 généralise la bascule sur un seul cycle. En effet, pour les L_aC_o/C_oL_a (figure 4, en haut à droite), les productions s'agglutinent autour de deux droites : ($y = 1/2y$) et ($y = x$). 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 toujours deux cycles de mâchoire (figure 4, 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 L_aC_o/C_oL_a et à 300 ms pour les dupliqués (figure 4, 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 L_aC_o/C_oL_a (figure 4, en bas). Ainsi, le passage sur un seul cycle permet des débits plus rapides pour des vitesses de mâchoire plus lentes.

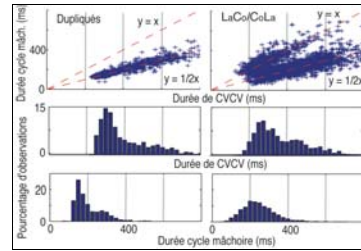


Figure 4 : Pour toutes les productions de tous les locuteurs et pour les CVCV dupliqués (à gauche) et L_aC_o/C_oL_a (à droite) : durée des cycles de mâchoire en fonction de la durée des CVCV (en haut); répartition des durées de CVCV (au milieu) et des durées de cycles de mâchoire (en bas).

Phasage entre la mâchoire et les constricteurs

Dans l'exemple de la figure 3.A, la bascule sur un cycle s'accompagne d'un déphasage entre LI et la mâchoire alors que PL reste phasée avec la mâchoire. L'étude globale du phasage entre la mâchoire et les constricteurs généralise ce résultat. En effet, OC_o advient majoritairement autour de 0% du cycle de mâchoire normalisé (figure 5, droite). En revanche, OL_a est principalement à la fin du geste d'ouverture (cf. /sapa/) ou dans les 3 premiers quart de geste de fermeture (figure 5, à gauche).

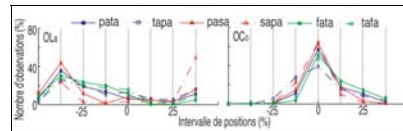


Figure 5 : Position de OL_a et de OC_o sur le cycle de mâchoire (cf. figure 3.C) quand le CVCV se réalise sur un seul cycle.

Phasage entre les constricteurs

Enfin, sur l'exemple de la figure 3.A à gauche, OL_a est plus proche de OC_o que OC_o de OL_a . Ce rapprochement montre que le locuteur évolue vers une structure L_aC_o . L'étude de la durée de OL_a à OC_o par rapport à la durée de OL_a à OL_a 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 différenciant significativement de 0 avec un ratio de 16/2. Ainsi, la durée de OL_a à OC_o tend à être plus courte que celle de OC_o à OL_a .

Tableau 2 : Rapport entre la durée de OL_a à OC_o et la durée de OL_a à OL_a 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, $p < 0,01 / 30$, test bilatéral
* Moyenne significativement différente de 0, $p < 0,05 / 30$, test bilatéral

Ces résultats confirment la dominance de l'attracteur L_aC_o par rapport à C_oL_a 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 L_aC_o et C_oL_a peut évoluer vers une forme L_aC_o ou C_oL_a . D'autre part, les données articulatoires vont dans le sens du principe d'économie d'énergie et d'une plus grande cohérence articulatoire de L_aC_o par rapport à C_oL_a .

6.1. Multi-déterminisme d'un système bistable

L'évolution vers l'un des attracteurs dépend de différents facteurs. Globalement, la progression vers L_aC_o prévaut, mais est moins nette pour les CVCV C_oL_a que L_aC_o . Ainsi, la coordination de départ et le feed-back auditif pourrait favoriser le maintien de type C_oL_a . D'autre part, la préférence pour L_aC_o est moins marquée pour /pasa/ et /sapa/ que pour les autres couples L_aC_o/C_oL_a 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 C_oL_a 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 L_aC_o puisque le profil L_aC_o domine tant au niveau des locuteurs que des séquences (voir aussi [16]).

6.2. Mâchoire et économie d'énergie

Le deuxième résultat important est que les CVCV L_aC_o et C_oL_a 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 L_aC_o et C_oL_a 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, amoindrit 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 constrictions dans les lexiques des langues [11][2]. D'autre part, la cohérence articulatoire sous-tendant la forme L_aC_o (avec un geste L_aC_o plus sujet au phasage qu'un geste C_oL_a) permet non seulement d'expliquer la dominance de la forme L_aC_o 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 L_aC_o constitue un argument pouvant expliquer le fait que les langues préfèrent les structures L_aC_o aux C_oL_a .

BIBLIOGRAPHIE

- Rousset, I. "From lexical to syllabic organization: Favored and disfavored co-occurrences". Proc. XVth ICPHS, Barcelona, pp. 715-718, 2003.
- Davis, B.L., MacNeilage, P.F. and Matyear, C. "Acquisition of serial complexity in speech". *Phonetica*, 59(2-3):75-107, Apr-Sep 2002.
- MacNeilage, P.F. and Davis, B.L. "On the origins of internal structure of word forms". *Science*, 288:527-531, 2000.
- Locke, J. "Movement patterns in spoken language". *Science*, 288:449-451, 2000.
- MacNeilage, P.F. "The frame/content theory of evolution of speech production". *Behavioral and Brain Sciences*, 21:499-511, 1998.
- Vilain, A., Abry, C., Badin, P. and Brosda, S. "From idiosyncratic pure frame to variegated babbling : evidence from articulatory modeling". ICPHS'99, San Francisco, USA, 1999.
- Munhall, K.G., Jones, J.A. (1998). Articulatory evidence for syllabic structure. *Behavioral and Brain Sciences*, 21:4, pp.499-521.
- Lindblom, B. "On the notion of possible speech sound". *J. of Phonetics*, 18 :135-152, 1990.
- Hoyt, D. and Taylor, C.R. "Gait and the Energetic of Locomotion in Horses". *Nature* 292:239-240, 1981.
- Haken, H., Kelso, J.A.S., and Buzsáki, H. "A theoretical model of phase transitions in human hand movements". *Biological Cybernetics*, 51:347-356, 1985.
- 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.
- Stetson, R.H. *Motor Phonetics: A study of speech movements in action*. Amsterdam: North-Holland, 1951.
- de Jong, K.J. "Rate-induced resyllabification revisited". *Language and Speech*, 44: 197-216, 2001.
- 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
- 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*
- Rochet-Capellan, A. and Schwartz, J.-L. "The Labial-Coronal effect and CVCV stability during reiterating speech production: An acoustic analysis". ICPHS, Lisboa, 2005.
- 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.
- 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
- Sato, M., Baciú, M., et al. "Multistable representation of speech forms: An fMRI study of verbal transformations". *NeuroImage*, 23:1143-1151, 2004.