

Cohésion temporelle dans les groupes C₁/l/ initiaux en français

Barbara Kühnert¹ et Phil Hoole²

¹ Institut du Monde Anglophone & Laboratoire de Phonétique et Phonologie (UMR 7018 – CNRS / Paris 3)
5 rue Ecole de Médecine, 75006 Paris, France

² Institut für Phonetik und Sprachliche Kommunikation / Ludwig Maximilians Universität München
Schellingstrasse 3/II, 80799 München, Allemagne
barbara.kuhnert@univ-paris3.fr hoole@phonetik.uni-muenchen.de

ABSTRACT

This work examines aspects of inter-consonantal cohesion within French word-initial C₁/l/-clusters in light of recent proposals of gestural coordination. Based on articulatory and acoustic events, the timing of tongue and lip movements in one subject was studied using an electromagnetic transduction device. More temporal overlap between C₁ and /l/ gesture onset as well as /l/ closure period was found for /pl/ than /kl/. Although matching similar patterns of gestural overlap in initial stop-stop clusters, this 'place of articulation' effect is attributed to low-level motor factors rather than to considerations of perceptual recoverability. An additional analysis of the overall C-centre of /pl/ and /kl/ showed a high temporal stability, confirming a relative constant phasing between initial consonant sequence and following vowel.

1. INTRODUCTION

Dans les modèles dynamiques de la production de parole, les unités pertinentes d'articulation sont des *gestes*, qui sont supposés correspondre aux propriétés phonologiques aussi bien que physiques de la parole [1,2]. Une notion centrale est la *co-production gestuelle* : les gestes articulatoires se chevaucheraient, dans le temps et l'espace, pour produire l'enchaînement de trajectoires qui caractérise la langue parlée.

Une attention particulière a été prêtée, au cours des dernières années, à l'orchestration temporelle des gestes articulatoires. En résumé, il a été montré que cette organisation est influencé par des facteurs globaux, tels que le débit de parole et le registre d'élocution, aussi bien que par des facteurs prosodiques [un aperçu général est proposé par 3 et références citées]. En outre, la coordination temporelle entre gestes semble dépendre de facteurs positionnels. Les groupes consonantiques initiaux de mot (ou de syllabe) tendent à connaître un moindre chevauchement inter-gestes que les mêmes groupes en position médiane de mot ou à travers une frontière de mot [4].

1.1. Coordination inter-gestes dans les séquences consonantiques

Dans le cadre des modèles dynamiques de la production de la parole, les variations observées dans la cohésion gestuelle sont attribuées à des différences dans l'association sous-jacente entre unités gestuelles. Plus spécifiquement, Browman et Goldstein [5] jugent qu'à l'intérieur d'une syllabe les gestes sont associés entre eux à des degrés divers, cette variable étant désignée comme *force d'association (bonding strength)*. En particulier, les gestes consonantiques en position initiale de syllabe présenteraient non seulement une mise en phase avec la voyelle suivante mais aussi une relation de phase entre eux. Le compromis entre les exigences contradictoires de ces deux mises en phase aboutirait à un effet de *C-centre* : un point d'ancrage temporel dans la séquence des consonnes, supposé préserver une synchronisation stable par rapport à la voyelle, indépendamment du nombre et de la nature des consonnes qui composent le groupe. En revanche, aucune mise en phase inter-consonantique n'est censée exister en position finale de syllabe, où l'on s'attend donc à une variabilité plus élevée dans la synchronisation inter-gestes (Nam et Saltzman [6] proposent, dans cette perspective, des simulations de ce type de couplage inter-gestes).

Un autre facteur évoqué pour expliquer des différences de synchronisation inter-gestes est la notion de 'récupérabilité' perceptive des gestes dans la séquence. Ainsi, dans les cas où le chevauchement pourrait masquer des corrélats perceptifs importants de l'une des consonnes de la suite, ce chevauchement sera moindre. Cet argument a été avancé pour expliquer (1) le fait que les groupes de consonnes présentent un moindre chevauchement en position initiale qu'ailleurs, et (2) le fait que dans des séquences de deux plosives le degré de chevauchement gestuel est lié au lieu d'articulation. Un chevauchement moindre est observé dans des suites de consonnes postérieure+antérieure (ex. [kt]) comparées à des suites antérieure+postérieure (ex. [pt]) (voir [4] au sujet de données anglaises, [7] au sujet du géorgien).

Dans ce contexte, et dans la lignée de travaux qui portent sur la coordination temporelle dans les séquences [kl] de plusieurs langues [8,9], notre étude-

pilote s'attache à l'organisation temporelle intra- et inter-gestes de groupes $C_1/l/$ initiaux en français.

2. METHODE

2.1. Locuteur et corpus

Un locuteur français masculin a participé à l'expérience. Les données examinées ici font partie d'un corpus plus vaste dans lequel le sujet a produit des répétitions multiples d'expressions du type "je vois mot_1 et mot_2 et mot_3 ". Mot_1 et mot_2 sont les mots cibles contenant tous les groupes consonantiques initiaux (C, CC et CCC) phonotactiquement légaux en français. Le Mot_3 est un distracteur. Les voyelles sont aussi souvent que possible [i] et [a]. Nous examinerons ici dix répétitions de [pl] et [kl] prononcées dans les mots *plaque* et *claque*. Afin d'éviter des effets potentiels de position dans la phrase, chaque mot cible est produit cinq fois comme mot_1 et cinq fois comme mot_2 . Les phrases étaient présentées sur un écran d'ordinateur et le sujet a été invité de les lire à une vitesse confortable, choisie par lui-même.

2.2. Enregistrements

Les mouvements des lèvres, de la mâchoire inférieure et de quatre points sur la langue ont été capturés à l'aide d'un appareil de transduction électromagnétique à trois dimensions (EMMA 3D). Des capteurs supplémentaires ont été utilisés comme références. Le signal acoustique a été enregistré synchroniquement avec les signaux de mouvement. Une description des procédures d'acquisition, de normalisation et de préparation des données est présentée dans Hoole [10].

Nous nous concentrerons ici sur les données de la lèvre inférieure (LL), de bout de la langue (TT) et du capteur le plus postérieur du dos de la langue (TB), associés respectivement à la production de l'occlusive bilabiale [p], de la liquide [l] et de l'occlusive vélaire [k]. Nous utilisons l'étiquette 'bout de la langue' (TT) de façon conventionnelle mais il faut noter que le capteur était placé à peu près à 1 cm du bout de la langue, ce qui correspond plutôt à la lame de la langue. Le capteur le plus postérieur (TB) a été attaché à peu près à 0,5 cm derrière le point d'occlusion de la langue sur le palais pour une vélaire.

2.3. Analyse de données

Les données ont été analysées à l'aide de scripts MATLAB en considérant les maxima de déplacement vertical et les minima de vélocité tangentielle des trajectoires articulatoires. Les points de mesures, illustrés dans la figure 1, sont, pour [p] : le début du geste de fermeture de la lèvre inférieure, et le début et la fin de l'occlusion bilabiale ; pour [l] : le début du geste de fermeture de la pointe de la langue, et le début et la fin de l'occlusion alvéolaire ; et pour [k] : le début

du geste de fermeture du corps de la langue, et le début et la fin de l'occlusion vélaire.

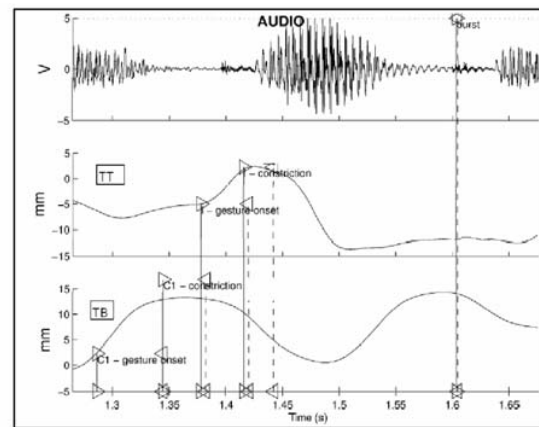


Figure 1: Illustration des mesures dans les signaux EMMA d'une production de *claque* (voir texte pour le détail). Signal acoustique (haut), trajectoire de déplacement vertical de TT (milieu) et de TB (bas).

Deux mesures ont été considérées comme indices de chevauchement temporel entre les gestes des plosives et du [l] : (a) l'intervalle entre la fin de l'occlusion de la plosive C_1 et le début du geste de fermeture de [l] (*onset overlap*), c.-à-d., à quel moment pendant ou après l'occlusion de C_1 est initié le geste du [l]; et (b) l'intervalle entre la fin de l'occlusion de la plosive C_1 et le moment où la constriction de [l] est atteinte (*closure overlap*), c.-à-d., selon la terminologie de Chitoran et al. [7], le délai temporel (*lag*) entre la fin de la constriction de C_1 et le début de la constriction de C_2 .

3. RESULTATS

3.1. Chevauchement de gestes et propriétés intra-gestes

Les résultats du chevauchement inter-gestes sont représentés dans la figure 2. Il est à noter que plus la valeur positive est haute, plus le geste du [l] est initié tôt pendant la période d'occlusion de la plosive, donc plus il y a de chevauchement. Inversement, une valeur négative indique que la cible de [l] est atteinte plus tardivement après le relâchement de C_1 . Les résultats montrent un effet important du lieu d'articulation de C_1 : le chevauchement entre le début du geste de [l] et la fin de C_1 est bien plus important dans les séquences [pl] que dans les séquences [kl]. De même, la constriction de [l] est atteinte plus tôt après un [p] qu'après un [k]. Un t-test (non apparié, two-tailed), calculé séparément pour les deux indices de chevauchement présente des différences significatives entre les deux contextes [kl] et [pl] (*onset overlap* : $p > 0,001$; *closure overlap* : $p > 0,05$).

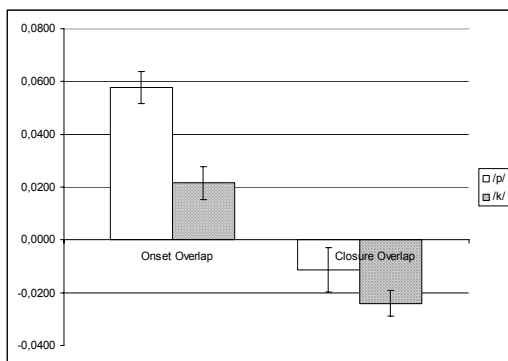


Figure 2: Moyennes et écarts types des intervalles de chevauchement (en ms) pour les deux indices de chevauchement, 'onset overlap' et 'closure overlap' en fonction de la nature de C_1 [p] et [k] (n=10).

Sur la figure 2, on peut également observer implicitement comment les propriétés intra-geste de [l] varient en fonction de C_1 , en particulier si on considère l'intervalle temporel entre l'initiation du mouvement de la pointe de la langue et l'atteinte de la cible articulatoire. La table 1 résume les durées des différentes composantes de chaque geste. Si les plosives ont des caractéristiques temporelles assez semblables, les caractéristiques de [l] varient en fonction de la plosive précédente. Dans le contexte [p] la phase de constriction alvéolaire est légèrement plus longue tandis que la durée du geste de fermeture du TT est fortement allongée.

Table 1: Les durées moyennes des gestes de fermeture et des plateaux de constriction maximale en ms (écart type entre parenthèses ; n=10).

	durée du geste de fermeture (ms)	durée du plateau de constriction (ms)
/k/	63 (05)	59 (08)
/p/	67 (08)	55 (12)
/l/, $C_1 = /k/$	45 (05)	42 (10)
/l/, $C_1 = /p/$	69 (06)	47 (08)

3.2. Le timing du C-centre

Comme mentionné plus haut, le C-centre correspond au centre de la séquence consonantique qui est supposé représenter le point dans le temps qui préserve une relation temporelle stable entre la suite des consonnes et la voyelle suivante. Selon Browman et Goldstein [5], le C-centre est calculé comme la moyenne des centres des plateaux de constriction des gestes individuels pour C_1 et C_2 . Les C-centres ont été alignés ici par rapport au relâchement acoustique de la consonne finale du mot. Ce point d'alignement est illustré par le curseur sur la droite dans la figure 1. Cette mesure suppose que le geste vocalique, dont les propriétés temporelles sont difficiles à mesurer

directement, est coordonné également avec le [k] final dans *claque* et *plaque*. La table 2 montre la localisation moyenne du C-Centre pour les deux groupes consonantiques relativement au point d'alignement. On constate que cette mesure temporelle globale est assez stable entre les deux séquences de consonnes, malgré les différences de coordination temporelle observées ci-dessus entre les gestes consonantique individuels ($p = 0.695$; n.s.)

Table 2: Moyenne et écart type de la localisation du C-centre relatif au burst acoustique du [k] final (en ms; n=10).

Cluster	moyenne (ms)	écart type (ms)
/pl/	268	20
/kl/	264	26

4. DISCUSSION

Les caractéristiques de chevauchement temporel observés pour des groupes C/l/ initiaux en français dans cette étude montrent un effet de lieu d'articulation similaire à celui relaté pour des séquences de plosives initiales [4,7]. En effet, on observe plus de chevauchement dans une suite de consonnes antérieure+postérieure ([pl]) que dans une suite postérieure+antérieure ([kl]). Cependant, il nous semble que ce pattern peut relever non seulement de facteurs de récupérabilité perceptuelle, mais aussi de contraintes simples du système moteur d'exécution.

Premièrement, puisque la production de la liquide [l] n'implique pas une constriction complète dans le tractus vocal, elle ne masque pas les informations perceptuelles éventuelles de la consonne précédente, de la façon dont une plosive le ferait. Ainsi, s'il y en a, les problèmes de récupérabilité perceptuelle sont plus faibles dans le cas d'une production plosive-liquide que dans une production plosive-plosive. De ce fait, plus de chevauchement devrait être permis.

Le deuxième argument repose sur la différence fondamentale observée dans la durée du début du geste jusqu'à l'accomplissement de la cible du [l]. Ce geste de fermeture est significativement plus long lorsque le [l] suit un [p] par rapport à un [k]. Cette différence ne s'explique pas par des différences de spécification gestuelle sous-jacente pour [l], comme par exemple une différence dans le paramètre de raideur qui influencerait le rapport entre la durée, la vitesse et le déplacement d'un geste. Les spécifications des paramètres pour la production d'un [l] sont censées être identiques quelque soit le contexte.

Il nous semble plutôt que le chevauchement limité dans le contexte [k] relève de contraintes sur la configuration globale de la langue pendant la production d'une vélaire. Dans le contexte d'un [p], non-lingual, la langue est libre de se déplacer et

d'anticiper l'articulation du [l] dès la phase de fermeture bilabiale. Par conséquent, le plateau de constriction peut être atteint plus tôt. Les articulations vélares, en revanche, exigent un mouvement holistique de la langue qui implique également le système bout/lame de la langue. Les caractéristiques spécifiques des plosives vélares, en particulier, sont connues pour contraindre fortement les mouvements de la totalité de la langue pendant l'intervalle de fermeture, ainsi que l'ont démontré maintes études physiologiques [11,12]. Ainsi, dans le contexte [kl], la lame de la langue ne peut pas exécuter l'articulation du geste de [l] aussi tôt que pour [pl]. Une évidence supplémentaire peut être trouvée dans des productions de [skl] du même locuteur, comme dans *sclérose*. Un exemple représentatif est donné dans la figure 3, recueilli dans la même séance d'enregistrement.

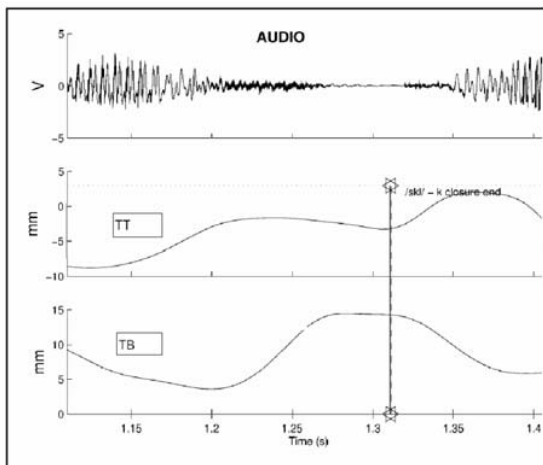


Figure 3: Exemple d'une production de [skl]. Signal acoustique [haut] ; trajectoire verticale de TT (milieu) et de TB (bas). Le curseur est positionné à la fin de la constriction vélaire.

On peut observer que la lame de la langue (au milieu) ne se déplace pas directement de l'articulation de la fricative [s] vers la production latérale pendant l'occlusion vélaire, comme on pourrait s'y attendre. Elle montre plutôt un léger mouvement descendant et le geste du [l] n'est initié qu'à la fin de la constriction de [k].

Bien que certaines des différences temporelles observées n'apparaissent qu'au niveau de l'exécution des articulations, cela ne signifie pas qu'elles ne reflètent pas également des différences dans les spécifications sous-jacentes d'alignement entre les différents gestes. Comme la stabilité du C-centre des groupes de consonnes nous le suggère, il y a un certain réajustement dans la mise en phase des structures consonantiques initiales de sorte qu'une cohésion globale entre séquence consonantique et voyelle soit maintenue.

5. CONCLUSION

Etant donné la variabilité omniprésente dans la production de parole, il va sans dire que nos résultats ne sont que suggestifs pour l'instant. Cependant, ils montrent que seule une investigation détaillée d'une multitude de données empiriques nous permet de déterminer quelles caractéristiques des gestes articulatoires sont les conséquences des propriétés du système moteur et quelles caractéristiques sont dues aux spécifications dans les structures de contrôle central. Nos données montrent également que l'effet du lieu d'articulation sur le chevauchement, i.e. moins de chevauchement temporel dans la direction postérieur+antérieur, reflète dans une certaine mesure les propriétés dynamiques de bas niveau propres aux articulations du dos de la langue.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] E. Saltzman et K. Munhall. A dynamical approach to gestural patterning in speech production. *Ecological Psychology*, 1:333-382, 1989.
- [2] C. Browman et L. Goldstein. Articulatory Phonology: an overview. *Phonetica*, 49:155-180, 1992.
- [3] D. Byrd. Frontiers and Challenges in Articulatory Phonology. *Proc. ICPhS XV*, pp. 89-92, 2003.
- [4] D. Byrd. Influences on articulatory timing in consonant sequences. *Journal of Phonetics*, 24(2): 209-244, 1996.
- [5] C. Browman et L. Goldstein. Competing constraints on intergestural coordination and self-organization of phonological structures. In *Bulletin de la Communication Parlée*, vol.5, pp. 25-34, 2000.
- [6] H. Nam et E. Saltzman. A competitive, coupled oscillator of syllable structure. *Proc. ICPhS XV*, pp. 2253-2256, 2003.
- [7] I. Chitoran, L. Goldstein et D. Byrd. Gestural overlap and recoverability: Articulatory evidence from Georgian. In *Papers in Laboratory Phonology VII*, C. Gussenhoven, T. Rietveld and N. Warner (eds.), Mouton de Gruyter, pp. 419-448, 2002.
- [8] F. Gibbon, W. Hardcastle et N. Nicolaidis. Temporal and spatial aspects of lingual co-ordination in /kl/ sequences: a cross-linguistic investigation, *Speech and Language*, 36:261-277, 1993.
- [9] W. Hardcastle, B. Vaxelaire, F. Gibbon, P. Hoole et N. Nguyen. EMA/EPG study of lingual coarticulation in /kl/ clusters. In *SPM-1996*, pp. 53-56, 1996.
- [10] P. Hoole, A. Zierdt et C. Geng. Beyond 2D in articulatory data acquisition and analysis. *Proc. ICPhS XV*, pp. 265-268, 2003.
- [11] J. Perkell. Physiology of speech production: results and implications of a quantitative cineradiographic study. MIT Research Monograph 53, MIT Press, Cambridge, MA, 1969.
- [12] A. Löfqvist et V. Gracco. Control of oral closure in lingual stop consonant production. *JASA*, 111(6):2811-2827, 2002.