

Articulation et coarticulation en frontières prosodiques en français

Yohann Meynadier

Department of Theoretical and Applied Linguistics, University of Edinburgh
Adam Ferguson Building, George Square, Edinburgh EH8 9LL, Scotland, UK
Mél: yohann@ling.ed.ac.uk

ABSTRACT

This EPG study of the linguopalatal articulation and coarticulation of segments at prosodic boundaries in French shows that some articulatory cues vary according to the hierarchical level of the prosodic boundaries. The stronger the boundary, (i) the larger the duration and the magnitude of linguopalatal opening of the final pre-boundary vowel; (ii) the closer inter-gestural timing between vowel and coda consonant of the pre-boundary rime; (iii) the larger the articulatory timing and the more reduced the spatial coarticulation between trans-boundary segments. These results are interpreted as a gradual supralaryngeal strengthening of the boundary demarcation as function as the prosodic hierarchy.

1. INTRODUCTION

Cette étude, Meynadier [6], s'intéresse au degré de corrélation entre variations articulatoires supraglottiques en frontières prosodiques et hiérarchie prosodique, où la structure des énoncés est représentée par une organisation hiérarchique en constituants prosodiques de différents niveaux (par exemple, Shattuck-Hufnagel & Turk [8], pour une revue).

Nombre de travaux effectués récemment sur diverses langues établissent que les segments ont une articulation graduellement renforcée, c'est-à-dire que les gestes sont plus longs et/ou plus amples, et les enchaînements articulatoires inter-segmentaux une coarticulation graduellement réduite, plus le niveau de la frontière prosodique adjacente est élevé dans la hiérarchie prosodique (entre autres, Byrd et al. [1], Keating et al. [5]). Cela est vrai pour les segments consonantiques et vocaliques, en position initiale et finale de constituant, pour les enchaînements trans-frontaliers, et pour les articulations orales, nasales et glottales. Les corrélats supraglottiques de la structure prosodique permettent de distinguer jusqu'à 5 niveaux hiérarchiques prosodiques selon les études. Cependant, ces travaux rendent compte également d'une variabilité importante de ce phénomène de « *renforcement articulatoire segmental* » dans le comportement des locuteurs au regard du nombre de niveaux prosodiques distinctivement marqués, du type de segments et des articulateurs impliqués.

Sur ce sujet, seule l'étude Fougeron [2] a réellement

montré l'existence de ce phénomène en français. Elle se limitait cependant à la position initiale de constituant prosodique et à l'articulation segmentale. Notre étude complète cette recherche en analysant l'articulation et la coarticulation des segments en position finale (pré-frontalière) et initiale (post-frontalière) de constituants prosodiques de différents niveaux hiérarchiques. Elle cherche particulièrement à dégager quels types de phénomènes articulatoires et coarticulatoires paraissent répondre à un comportement inter-individuel homogène des locuteurs dans la production de la parole.

2. MÉTHODE

2.1. Matériel linguistique

Les variations supraglottiques observées concernent l'articulation et la coarticulation linguopalatales des segments impliqués dans la séquence /aC#Ca/ enchaînée dans une phrase, où CC correspond à /kl/, /lk/, /kt/ ou /tk/ et # à la position de frontières prosodiques de différents niveaux hiérarchiques. L'accent est toujours réalisé sur le premier /a/ qui constitue le noyau de la syllabe finale du constituant prosodique. 7 phrases pour /kl/ et 8 pour /lk, kt, tk/, différant selon le niveau hiérarchique de la frontière prosodique inter-consonantique, ont été lues sans pause de 12 à 15 fois par 3 locuteurs français (Table 1).

Table 1 : Exemples de phrases pour les 4 niveaux de la hiérarchie prosodique étudiée (NP). En gras la séquence et soulignée la syllabe accentuée. (Les contextes ICC ont été réalisés en modalité interrogative, les locuteurs ne pouvant les produire sans pause en modalité déclarative)

NP	Phrases
INA	a Ma belle-sœur a gagné 2 quatre-quatre noirs et 1 moto.
	b Ma <u>grand-mère</u> utilise un sac Tati pour faire ses courses.
ACC	c La fatigue affaiblit l' attaque laotienne de l'équipe.
	d La merveilleuse nounou <u>étale</u> Camélia sur le lit.
ICT	e La réponse de la <u>candidate</u> catastrophe le jury.
	f Ma mauvaise foi et mes attaques , Tatiana les méprise.
ICC	g A force, elle les adore, les <u>dattes</u> , Camélia , maintenant ?
	h Ma belle-mère a trouvé l' <u>étal</u> ? Camélia le cherchait.

2.2. La hiérarchie prosodique

Les différents niveaux de la hiérarchie prosodique ont été induits par la manipulation de la structure syntaxique et thématique des phrases et validés par une analyse des indices suprasedimentaux de frontière. La hiérarchie étudiée compte 4 niveaux prosodiques

différents de frontière (Table 1), du plus bas au plus élevé : (1) niveau non prosodique (inaccentué), correspondant à une frontière syllabique (*a*) ou de mot inaccentué (*b*), INA ; (2) niveau accentuel, correspondant soit à un accent rythmique interne (*c*), soit à un accent final démarcatif (*d*) de groupe accentuel, ACC ; (3) niveau intonatif non terminal, correspondant à une intonation continuative finale soit de sujet (*e*), soit de thème antéposé (*f*), ICT ; (4) niveau intonatif terminal, correspondant à une intonation conclusive finale soit de thème post-posé (*g*), soit d'énoncé (*h*), ICC.

Cette hiérarchie prosodique est assez proche des constituances prosodiques proposées par les modèles intonatifs de la structure prosodiques du français, tels que ceux de Hirst & Di Cristo [3] et de Jun & Fougeron [2]. Néanmoins, elle en diffère selon certains aspects, tels que le statut prosodique de l'unité lexicale, de l'accent rythmique final de mot et des relations hiérarchiques entre groupe intonatif continuatif et conclusif (Meynadier [6 ; 7], pour plus de détails).

Afin de valider la pertinence linguistique de la hiérarchie prosodique empirique considérée ici, nous avons vérifié que ces niveaux étudiés se distinguent prosodiquement sur la base de 3 traits suprasegmentaux mesurés sur la voyelle /a/ pré-frontalière (a_1) : (1) le taux d'allongement (en %) par rapport à la durée moyenne des autres /a/ inaccentués ; (2) la valeur du pic de F0 (en ERB et normalisé par transformée z) ; (3) la pente du glissando exprimée par le rapport entre l'écart tonal durant la voyelle (en ERB et normalisé par transformée z) et sa durée. Les résultats des tests post-hoc PLSD de Fisher (1 facteur : « niveaux prosodiques ») montrent que les 4 niveaux prosodiques proposés se distinguent les uns des autres au regard des variations temporelles et tonales affectant la voyelle finale pré-frontalière (Figure 1).

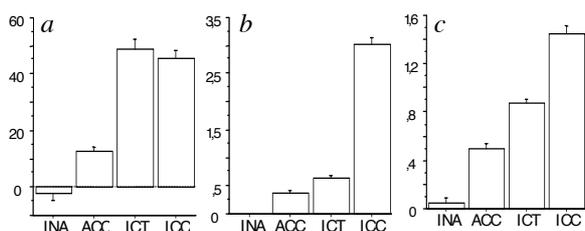


Figure 1 : Allongement (*a*), pic de F0 (*b*) et glissando (*c*) moyens de la voyelle a_1 pour les différents niveaux hiérarchiques prosodiques (locuteurs confondus).

2.3. L'analyse articulatoire

Les mesures articulatoires

Cette étude repose sur une investigation EPG (électropalatographie de Reading) des gestes articulatoires linguopalataux impliqués dans la séquence $a_1C_1\#C_2a_2$. 178 mesures spatiales et temporelles, segmentales et inter-segmentales ont été effectuées sur chaque production de la séquence. Elles

comprennent des mesures segmentales vocaliques (par exemple : durée et magnitude de l'ouverture linguopalatale maximale, durée de la voyelle, etc.) et consonantiques (par exemple : durée absolue et relative des phases linguopalatales de fermeture, d'occlusion, de constriction maximale et d'ouverture, amplitude maximale de constriction linguopalatale, antériorité/postériorité et centralité de la constriction, etc.). Elles comptent également des mesures inter-segmentales concernant la coarticulation VC, CC et CV (par exemple, durée absolue et relative de l'intervalle articuloire entre les gestes, les occlusions ou les restrictions maximales consonantiques et les gestes ou les phases d'ouvertures maximales vocaliques, degré de chevauchement temporel et spatial entre C_1 et C_2 , etc.).

L'extraction des corrélats articulatoires

Afin d'extraire, parmi les 178 mesures * 4 groupes de consonnes (soit 712), celles correspondant à des corrélats articulatoires inter-individuels de la hiérarchie prosodique, une procédure statistique de sélection des résultats articulatoires a été appliquée. Elle repose sur un filtrage pas à pas des résultats selon 4 critères statistiques consécutifs. Dans un premier temps, les résultats sont traités séparément pour chaque locuteur. A l'Étape#1, seules les mesures attestant d'un effet significatif des niveaux prosodiques (ANOVA à 1 facteur, $p < 0,05$) sont conservées. L'Étape#2 exclut les résultats articulatoires insuffisamment corrélés à la hiérarchie prosodique. Pour chaque mesure articulatoire, l'ordre croissant des moyennes des 4 catégories (niveaux) de la hiérarchie prosodique (appelée « hiérarchie articulatoire ») est comparé avec l'ordre attendu dans la hiérarchie prosodique de référence (soit $INA < ACC < ICT < ICC$) au moyen du coefficient de corrélation des rangs de Spearman (r_s). Un seuil de rejet a été fixé afin d'écarter les hiérarchies articulatoires trop éloignées de la hiérarchie prosodique attendue. Ce seuil rend compte de l'impact d'au maximum deux inversions d'ordre entre deux niveaux prosodiques hiérarchiques théoriquement contigus ($-0,6 < r_s < 0,6$). Puis, dans un second temps, les résultats des locuteurs sont comparés afin de ne retenir que les phénomènes articulatoires correspondant à un comportement inter-individuel. Dans l'Étape#3, une mesure est retenue seulement si elle est représentée par au moins 2 des 3 locuteurs et si elle montre le même sens de variation articulatoire en fonction de hiérarchie prosodique. Enfin, l'Étape#4 ne retient que les mesures/résultats attestant d'une homogénéité statistique des locuteurs restants, testée au moyen d'un ANOVA (1 facteur : « niveaux prosodiques » ; seuil de rejet : $p > 0,05$; locuteurs restants confondus). Cette procédure de sélection permet ainsi de dégager les phénomènes supraglottiques qui montrent une corrélation étroite avec la hiérarchie prosodique testée et qui répondent à une production inter-individuelle. (Pour une analyse détaillée de la phase de filtrage des mesures, Meynadier [6, 7]).

3. RÉSULTATS

Cette procédure a permis de sélectionner 18,7 % des 712 mesures effectuées. Ces mesures correspondent à un phénomène articulatoire supraglottique donné, tel que par exemple la durée en ms de l'intervalle temporel entre la fin de l'occlusion de C_1 et le début de l'occlusion de C_2 pour la séquence /at#ka/. Chacun de ces phénomènes retenus représente une variation articulatoire graduelle et inter-individuelle assez étroitement corrélée à la hiérarchie prosodique proposée ici. Seuls les résultats les plus marqués et les plus clairs, c'est-à-dire les moins soumis à l'effet du type de groupes de consonnes et à la variabilité inter-individuelle, sont ici présentés.

3.1. Articulation segmentale

Le seul effet net de la hiérarchie prosodique sur les articulations segmentales concerne la voyelle de la syllabe finale pré-frontalière porteuse des marques suprasegmentales de la frontière prosodique (a_1). Outre l'allongement de sa durée acoustique, l'ouverture linguopalatale maximale de cette voyelle (la phase articulatoire montrant un minimum d'électrodes EPG contactées par la langue) est de plus en plus longue et plus grande, donc renforcée, plus la frontière prosodique est hiérarchiquement élevée (Figure 2).

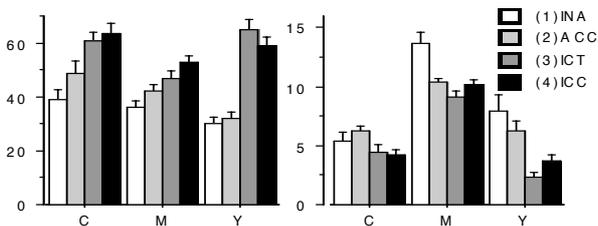


Figure 2 : Durée (à g., en ms) et taux de contacts EPG (à dr., en %) moyens pour l'ouverture linguopalatale de a_1 selon le niveau prosodique (par locuteurs, groupes de consonnes confondus).

3.2. Coarticulation

Deux phénomènes coarticulaires généraux se dégagent : (i) une cohésion temporelle plus importante au sein de la rime de la syllabe pré-frontalière ($a_1C_1\#$) ; (ii) une séparation plus nette entre les segments de part et d'autre de la frontière.

La rime finale $a_1C_1\#$

L'accroissement du niveau hiérarchique de la frontière entraîne un allongement graduel de la rime pré-frontalière, principalement du fait de celui du noyau (durée de a_1 * durée de $a_1C_1\#$, $R^2 = 0,623$). Il peut en outre s'accompagner également d'un délai entre a_1 et C_1 plus long (en ms) : par exemple entre de la fin de l'ouverture maximale de a_1 et le début de la constriction linguopalatale maximale de C_1 . Cependant ce délai articulatoire décroît toujours en proportion, c'est-à-dire rapporté à la durée de la rime a_1C_1 , du fait

d'allongement plus marqué de la rime. Ces variations sont relativement peu amples, mais apparaissent inter-individuellement pour tous les contextes segmentaux (Figure 3). Cela peut être interprété comme une cohésion temporelle inter-segmentale au sein de la rime graduellement plus grande, plus le niveau de la frontière prosodique subséquente est élevé.

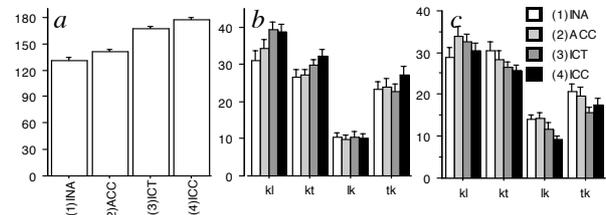


Figure 3 : Durée de a_1C_1 (a, en ms), durée (b, en ms) et proportion dans a_1C_1 (c, en %) moyennes de l'intervalle temporel entre l'ouverture maximale de a_1 et la constriction maximale de C_1 selon le niveau prosodique (par groupes, locuteurs confondus).

L'enchaînement trans-frontalier $C_1\#C_2$

Le degré de chevauchement articulatoire entre C_1 et C_2 est dans certains cas influencé par le poids de la frontière prosodique inter-consonantique. Seuls les groupes /tk, lk/ y sont sensibles, et non les groupes composés d'une consonne linguopalatale postérieure suivie d'une antérieure (/kt, kl/). Ce phénomène semble largement dépendre de la nature des groupes de consonnes impliqués. Ainsi pour /tk/, la proportion dans le groupe du chevauchement temporel entre la fin de l'articulation linguopalatale de C_1 et le début de celle de C_2 diminue graduellement avec le niveau de la frontière. /lk/ montre un comportement binaire : la présence d'une frontière prosodique, opposée à une frontière syllabique ou lexicale, engendre plus fréquemment une absence de chevauchement. Les mesures spatiales confirment ce résultat. Le degré de constriction linguopalatale en début de C_2 (en % d'électrodes EPG contactées) lors de l'articulation de C_1 diminue en fonction de l'importance hiérarchique de la frontière (Figure 4). Ainsi dans certains contextes segmentaux, la coarticulation est graduellement réduite plus le niveau hiérarchique de la frontière prosodique inter-consonantique est important.

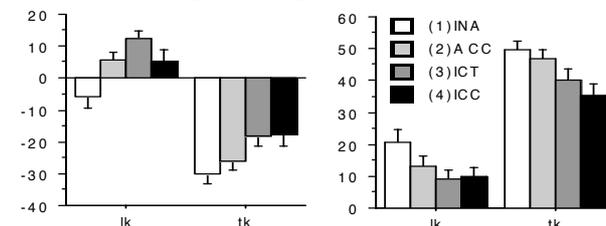


Figure 4 : Proportion dans C_1C_2 du chevauchement articulatoire entre C_1 et C_2 (à g., en %) et taux de contacts EPG de C_2 pendant C_1 (à dr., en %) selon le niveau prosodique pour /lk, tk/ (locuteurs confondus).

L'enchaînement trans-frontalier $C_1\#(C)a_2$

L'influence de la hiérarchie prosodique concerne

également le timing des gestes trans-frontaliers non contigus. La durée du délai articulatoire entre la fin de la consonne pré-frontalière (C_1) et le début de la voyelle post-frontalière (a_2), mais aussi sa proportion par rapport à la durée de a_2 , s'accroît de manière graduelle avec la hiérarchie prosodique (Figure 5).

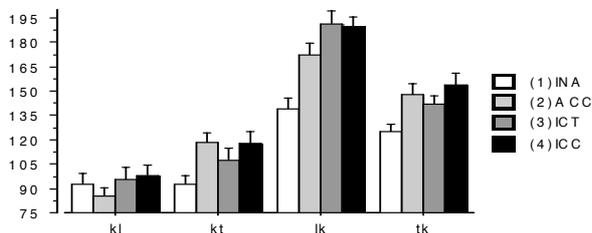


Figure 5 : Proportion (en %) du délai entre la fin de la constriction maximale de C_1 et le début acoustique de a_2 par rapport à la durée de a_2 selon le niveau prosodique (par groupes, locuteurs confondus).

Ces phénomènes coarticulaires peuvent être expliqués par une stratégie inter-individuelle de renforcement articulatoire segmental graduel en fonction du poids démarcatif des frontières prosodiques. Ainsi, une frontière intonative, plus qu'une frontière accentuelle, et elle-même plus qu'une frontière syllabique ou lexicale, impliquerait une cohésion plus importante entre les éléments de la rime de la syllabe pré-frontalière, par un timing inter-gestuel plus étroit. Cette cohésion pré-frontalière croissante contrasterait avec une coarticulation trans-frontalière graduellement réduite en fonction du poids de la frontière, marquant ainsi une rupture, ou démarcation, plus franche dans la chaîne segmentale.

4. DISCUSSION & CONCLUSION

Ce travail confirmerait donc la généralité du phénomène de renforcement articulatoire de la structure prosodique des énoncés en français en fonction de la hiérarchie prosodique. Ce phénomène apparaît comme un comportement articulatoire (i) général dans la parole du fait de sa multi-dimensionalité articulatoire (temporelle, spatiale, orale, nasale, glottale...) et de son inter-individualité, et (ii) peut-être universel, ayant été décrit dans des langues variées (cf. INTRODUCTION). Reste qu'il repose sur des variations articulatoires relativement ténues, largement optionnelles et dépendantes d'un certain nombre d'autres facteurs, comme le contexte segmental. Il est aussi soumis à une variabilité importante liée à la nature et à la position syntagmatique de ces corrélats articulatoires de la structure prosodique. Ainsi, à l'inverse de nombre de travaux réalisés sur diverses langues (Keating et al. [5]) dont le français (Fougeron [2]), très peu de variations articulatoires d'ordre spatiale et aucun renforcement articulatoire graduel des segments initiaux de constituants prosodiques hiérarchiquement croissants ont été dégagés dans cette étude. Outre des explications potentielles d'ordre méthodologique ou phonotactique à cette différence de résultats, l'existence d'une

multiplicité stratégique du renforcement articulatoire supraglottique de la structure hiérarchique des énoncés semble très probable. Ce point de vue est appuyé notamment par la comparaison des études de Fougeron [2] et Meynadier [6] sur le français. Ces deux travaux dégagent en effet des corrélats supraglottiques de la hiérarchie prosodique différents tant dans leur nature articulatoire que dans leur localisation syntagmatique face à la frontière prosodique. Néanmoins, ces derniers suivent le même comportement inter-individuel et graduel face à la hiérarchie des frontières prosodiques. Ainsi, dans les deux études les distinctions catégorielles entre niveaux prosodiques établies sur la base de variations articulatoires obéissent à une échelle identique de fréquence de distinctions hiérarchiques. Dans ces deux travaux, (i) la distinction hiérarchique la plus fréquente et marquée concerne la dominance des niveaux intonatifs (terminaux ou non) sur les niveaux non intonatifs (syllabique/lexical ou accentuel); (ii) à un degré moindre se trouve celle entre niveau accentué et non accentué; (iii) enfin la distinction hiérarchique moins stable étant entre les niveaux intonatifs terminal et non terminal (Meynadier [6; 7]).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] D. Byrd et al.. Phrasal signature in articulation. In *Papers in Laboratory Phonology V*, pages 70-87, CUP, Cambridge, 2000.
- [2] C. Fougeron. Articulatory properties of initial segments in several prosodic constituents in French. *Journal of Phonetics*, 29: 109-135, 2001.
- [3] D. Hirst and A. Di Cristo. French intonation: a parametric approach. *Die Neueren Sprache*, 5: 554-569, 1984.
- [4] A.-S. Jun and C. Fougeron. A phonological model of French intonation. In A. Botinis (ed.), *Intonation: Models and Technology*, pages 209-242, Kluwer, Dordrecht, 2000.
- [5] P. Keating et al.. Domain-initial articulatory strengthening in four languages. In *Papers in Laboratory Phonology VI*, CUP, Cambridge, 2003.
- [6] Y. Meynadier. *Interaction entre prosodie et (co)articulation linguopalatale en français*. Thèse de doctorat. Université de Provence, 2003.
- [7] Y. Meynadier. Mapping between prosodic hierarchy and supralaryngeal articulatory variations in French. In *Proceedings of the 2nd Conference of Speech Prosody*, Nara, mars 2004.
- [8] S. Shattuck-Hufnagel and A. Turk. A prosody tutorial for investigators of auditory sentence processing. *Journal of Psycholinguistic Research*, 25(2): 193-247, 1996.

Remerciements

Cette recherche a été financée par une bourse du Conseil Régional PACA. Merci à Michel Pitermann (LPL) pour son aide dans l'analyse statistique.