

Effet du vieillissement sur l'anticipation d'arrondissement intra-syllabique en français.

Louise Wohmann-Bruzzo¹ Cécile Fougeron¹ Nicolas Audibert¹

(1) Laboratoire de Phonétique et Phonologie (CNRS & Sorbonne Nouvelle), 4, rue des Irlandais, 75005 Paris, France
prenom.nom@sorbonne-nouvelle.fr

RÉSUMÉ

Cette étude examine l'évolution de l'anticipation d'arrondissement intra-syllabique en fonction de l'âge, en se basant sur les travaux précédents de D'Alessandro et Fougeron (2021), qui montre une diminution de la coarticulation inter-syllabique chez les personnes âgées. Nous avons analysé acoustiquement les syllabes /sy/ et /si/ de 40 locuteurs français répartis en deux groupes : 20 jeunes adultes (23-34 ans) et 20 personnes âgées (72-86 ans). Nos résultats montrent une diminution significative de l'anticipation d'arrondissement chez les âgés, indépendante d'une diminution de débit articulatoire. Moins de coarticulation au sein d'une même syllabe ne peut pas s'expliquer par un encodage syllabe par syllabe, comme pouvait l'être la diminution de coarticulation entre syllabe. Nous avançons donc que cette diminution globale de la co-articulation reflète un changement de paramétrisation de la parole chez les personnes âgées limitant le chevauchement entre gestes articulatoires et garantissant l'atteinte des cibles articulatoires successives.

ABSTRACT

Ageing effects on intra-syllabic anticipatory rounding in French.

This study examines the evolution of intra-syllabic rounding anticipation as a function of age, building upon previous work by D'Alessandro and Fougeron (2021), which demonstrated a decrease in inter-syllabic coarticulation among older individuals. Acoustic analysis was conducted on the syllables /sy/ and /si/ from 40 French speakers divided into two groups: 20 young adults (aged 23-34) and 20 elderly individuals (aged 72-86). Our findings reveal a significant decrease in rounding anticipation among the elderly, independent of a decrease in articulatory rate. The reduced coarticulation within a syllable cannot be explained by a syllable-by-syllable encoding, as was the case with the decrease in inter-syllabic coarticulation. We therefore propose that this overall reduction in coarticulation reflects a shift in speech parameterization among the elderly, limiting overlap between articulatory gestures and ensuring the achievement of successive articulatory targets.

MOTS-CLES : coarticulation, vieillissement, anticipation d'arrondissement, acoustique, fricative

KEYWORDS : coarticulation, speech aging, rounding anticipation, acoustic analysis, fricative

1 Introduction

1.1 Vieillesse de la parole

La phonétique, particulièrement dans son application clinique, explore de plus en plus les liens entre langage, parole et maladies neurodégénératives, lesquelles affectent principalement les personnes âgées. En comparaison, moins d'études se penchent sur le lien entre parole et vieillissement sain, privant ainsi la littérature de bases de données saines à comparer aux données pathologiques. Or, il est difficile de décrire les effets du vieillissement pathologique sur la parole sans savoir comment la parole est supposée vieillir sans pathologie. Notre étude préliminaire s'inscrit dans un projet plus large, qui vise à mieux comprendre les effets du vieillissement sur la parole. Nous savons que les muscles s'affaiblissent et que les cartilages se solidifient avec l'âge, et des changements de voix dus à l'âge ont été expliqués par ces phénomènes physiologiques (Xue & Hao, 2003; Linville & Rens, 2001). Nos capacités cognitives (Rodríguez-Aranda & Jakobsen, 2011) et nos capacités motrices déclinent également : nos mouvements sont moins précis, et plus lents. Les personnes âgées prennent alors plus de temps pour planifier leurs gestes, notamment leurs gestes articulatoires. Le ralentissement du débit de parole est un des résultats les plus robustes des études faites sur l'âge : les personnes âgées parlent plus lentement que les personnes jeunes. Cela a été constaté sur plusieurs tâches de production de parole (Amerman & Parnell, 1992; Ramig, 1983; voir Tucker, 2021, pour une revue), avec plusieurs groupes d'âge, et sur des études transversales (Bóna, 2014) comme longitudinales (Quené, 2013). Mais la nature de ce ralentissement de débit articulatoire peut être multifactorielle. Le ralentissement moteur général lié à l'âge est un des facteurs connus (Yan, Thomas & Stelmach, 1998), même si ses causes sont débattues, et on sait qu'il pourrait affecter les gestes articulatoires. Un ralentissement des réponses cognitives pourrait s'ajouter et pousser les personnes âgées à adopter de nouvelles stratégies, dont le ralentissement des gestes articulatoires ferait partie, afin de répondre à un changement dans leurs ressources. D'autres stratégies, discutées dans la littérature, seraient l'utilisation de pauses ou de fillers plus importante chez les personnes âgées, qui, selon Bortfeld et. al. (2001) et Martin-Reis & Andrade (2011), répondraient à une difficulté accrue à planifier les unités de parole. Tous ces changements pourraient affecter la manière dont les personnes âgées parlent, mais on connaît encore mal leur rôle et leur conséquence. Pour essayer de démêler les effets de certains de ces facteurs, particulièrement le ralentissement du débit et les éventuels changements dans la planification de la parole, nous avons choisi d'utiliser la coarticulation anticipatoire comme indice des effets du vieillissement sur la parole.

1.2 Arrondissement anticipatoire

La coarticulation est le phénomène par lequel les gestes articulatoires peuvent s'exécuter ensemble. Ainsi, les sons vont s'influencer dans le flux de parole. Elle est nécessaire à la fluidité du signal produit. Nous avons choisi d'étudier l'arrondissement anticipatoire, en français, d'une voyelle arrondie sur la fricative qui la précède. Dans une étude récente, D'Alessandro et Fougeron (2021) ont montré que la coarticulation anticipatoire de voyelle à voyelle, entre deux syllabes en français, diminue avec l'âge, et ceci de manière non linéaire entre 20 et 90 ans. Afin de tester si la diminution de la coarticulation était la conséquence directe d'un ralentissement du débit – car un débit plus lent impliquerait moins de chevauchements de gestes et inversement, le débit serait plus lent car les gestes se chevauchent moins –, les autrices ont étudié les liens entre coarticulation et débit des locuteurs. Leurs résultats montrent une réduction abrupte du degré de coarticulation chez les locuteurs dépassant 54 ans. Entre 20 ans et 70 ans, la réduction de la coarticulation et le

ralentissement du débit sont bien corrélés. Mais, à partir de 70 ans, le ralentissement du débit n'explique plus la diminution de la coarticulation : les locuteurs âgés coarticulent peu, quel que soit leur débit. Les autrices proposent l'hypothèse suivante pour expliquer leurs résultats. Cette diminution pourrait être due à la modification de la taille de l'unité sur laquelle la parole est planifiée. En effet, les voyelles impliquées dans ce processus de coarticulation faisant partie d'un seul et même mot bisyllabique, la présence d'anticipation d'une syllabe sur la précédente suppose une planification d'une unité de parole dans laquelle les gestes peuvent se chevaucher qui est à l'échelle du mot, *a minima*. Si la coarticulation entre les syllabes, dans ce mot, disparaît, cela peut venir du fait que les gestes sont planifiés non plus à l'échelle du mot où les syllabes sont coordonnées, mais sur des unités plus petites, syllabe par syllabe. Or, pour appuyer cette hypothèse, il est nécessaire de savoir si la coarticulation à l'intérieur d'une syllabe varie aussi avec l'âge. Ceci est l'objectif du projet dans lequel s'inscrit le présent travail. Nous cherchons à vérifier si une coarticulation anticipatoire à l'échelle syllabique serait affectée par l'âge. Pour cela, nous examinons l'anticipation de l'arrondissement de la voyelle /y/ sur la fricative sourde /s/ dans des syllabes /sy/ en parole continue en français. Dans ce travail préliminaire, les effets du vieillissement sont testés par une comparaison de groupes, entre adultes âgés et jeunes.

1.3 Quantification de l'arrondissement dans les réalisations de /s/

Le choix de la syllabe /sy/ pour considérer l'anticipation d'arrondissement dans notre étude est motivé par les propriétés mêmes des sons impliqués : la voyelle /y/ et la fricative sourde /s/ sont compatibles articulatoirement. Peu de gestes articulatoires diffèrent entre leurs productions, et cela favorise l'apparition de coarticulation (Yeni-Komshian & Soli, 1981). Le geste de la labialisation, qui se traduit en français par une protrusion des lèvres et une réduction de leur aperture, peut être anticipé dès la production du /s/, et il a un effet directement observable acoustiquement : l'allongement de la cavité antérieure a un impact sur le bruit du /s/, et donc sur les mesures acoustiques qui le quantifient. La mesure habituelle dans la littérature pour les fricatives, et particulièrement les sibilantes, est le premier moment spectral : le centre de gravité (CoG). Mais le CoG ne permet pas toujours une interprétation claire des événements articulatoires. Il a été vérifié que le CoG baisse en contexte arrondi (Koenig et. al., 2013; Jongman et. al., 2000) ; mais cet abaissement peut traduire à la fois l'augmentation de la taille de la cavité antérieure à la constriction (effet sur le filtre), ou le placement de l'apex lingual plus en arrière (effet sur le chenal fricatif). Une mesure permettant une interprétation plus directe et plus transparente est introduite par Koenig et. al. (2013), qui cherchent à capturer la résonance de la cavité antérieure à la constriction : la mesure $Freq_M$ est une mesure du pic spectral du /s/, qui se trouve généralement dans les fréquences moyennes (entre 3 et 7 kHz pour les hommes et entre 3 et 8 kHz pour les femmes). Cette mesure capture la résonance de la cavité antérieure à la constriction. Les études de Koenig et al. (2013) et de Shadle et al. (2023) montrent que le $Freq_M$ des sibilantes labialisées diminue, permettant de distinguer celles avec et sans anticipation d'arrondissement. Son abaissement, lié à l'allongement de la cavité antérieure à la constriction, se fait dynamiquement : on peut l'observer tout au long de la fricative, avec un abaissement maximal à la fin. C'est pourquoi nous avons choisi d'utiliser $Freq_M$ dans notre étude. Cette mesure étant dépendante du sexe des locuteurs, il est important de traiter séparément les données des hommes et des femmes, comme il est recommandé pour la plupart des études sur les sibilantes (Shadle et. al., 2023 ; Stuart-Smith, 2007, Stuart-Smith et. al., 2007). La prise en compte de l'évolution temporelle des caractéristiques acoustiques du /s/ est conseillé pour ce type d'étude sur les fricatives : l'analyse sur une seule mesure prise en moyenne sur la totalité de la fricative, ou à un seul point temporel, amènerait un degré d'erreur trop important, et ne tiendrait pas compte des variations aérodynamiques naturelles de la production du /s/ (Bendat & Piersol,

2000). De plus, la coarticulation est un phénomène dynamique, et il semble difficile de l'analyser de manière statique sans en lisser les principales caractéristiques.

2 Méthode

2.1 Corpus

L'étude analyse un corpus de 40 locuteurs, répartis en deux groupes : les personnes âgées, comprenant 11 femmes et 9 hommes, et les jeunes, comprenant 10 hommes et 10 femmes. Les personnes âgées ont entre 72 et 86 ans (moyenne = 78.2), et les jeunes ont entre 23 et 34 ans (moyenne = 26.7). Chaque locuteur a lu trois fois 7 phrases formant une histoire. Dans ces phrases, nous avons sélectionné 8 mots monosyllabiques, ayant pour attaque un /s/ et comme noyau la voyelle /y/ ou la voyelle /i/. Nous avons 4 /sy/ et 4 /si/ pour une répétition des 7 phrases. L'analyse des /si/ nous permet d'établir une base de référence pour les /s/ de chaque locuteur, afin d'évaluer clairement l'effet de la voyelle /y/ sur le /s/ qui la précède. Nous ferons référence à un /s/ suivi d'un /i/ en le notant /s_i/, et à un /s/ suivi d'un /y/ en le notant /s_y/ . Nous obtenons donc 12 /s_i/ et 12 /s_y/ par locuteur, soit 960 /s/ analysés au total.

2.2 Analyses acoustiques et statistiques

Les [s] ont été segmentés manuellement avec Praat. Suivant la méthode de Koenig et. al. (2013), un script Praat a été utilisé pour relever la durée de chaque [s], et sur la bande de fréquence 500 Hz-15 kHz, 12 spectres ont été calculés à 12 points temporels équidistants, avec des fenêtres de Hanning de 25 ms. Sur chaque spectre, nous avons extrait automatiquement la valeur de Freq_M, après avoir procédé à un lissage cepstral avec une largeur de bande de 1000 Hz, suivant les paramètres retenus par Al-Tamimi & Khattab (2015). Le premier et le dernier point temporel ont été exclus, nous amenant à 10 points de mesures analysés. La mesure de Freq_M étant la mesure de la fréquence du pic spectral de la résonance principale, dépendante de la taille de la cavité antérieure à la constriction, nous attendons que les Freq_M des [s_i] soient plus hauts que les Freq_M des [s_y]. Ainsi, notre mesure de la quantité d'anticipation d'arrondissement sera la différence de Freq_M entre ces deux contextes, soit l'effet de [y] sur le [s]. Pour comprendre la relation entre débit et degré de coarticulation, nous avons mesuré un débit articulatoire par locuteur sur une des 7 phrases produites. Celle-ci a été segmentée manuellement en pauses et unités inter-pausales (UIP), et le débit articulatoire (ph/sec) correspond aux 29 phonèmes attendus divisés par la somme de la durée des UIP. Une modélisation GAMM a été envisagée sur les mesures dynamiques, mais la nécessité d'inclure une structure aléatoire contenant a minima l'occurrence et le locuteur ne permettait pas aux modèles de converger. Nous avons donc opté pour des modèles linéaires mixtes pour prédire les valeurs de Freq_M en fonction de la voyelle suivante ([y] ou [i]), du groupe d'âge et de leur interaction en tant que facteurs fixes, le locuteur et l'occurrence étant des intercepts aléatoires. Afin de ne pas représenter une fricative par un seul point, pour chaque [s], nous avons 10 valeurs de Freq_M, prises aux 10 points temporels. La durée a également été incluse en tant que prédicteur continu dans le modèle, afin de tenir compte de la variation attendue de la durée segmentale en fonction de l'âge. L'écart moyen entre les valeurs de Freq_M des [s_i] et de [s_y] par locuteur a été calculée avec un modèle linéaire. Nous avons cherché à confirmer l'existence d'une distinction entre les sexes et avons ainsi analysé les données des hommes et des femmes de manière distincte. Pour étudier la variabilité individuelle au sein de chaque groupe, des modèles par locuteur ont également été ajustés, avec la voyelle suivante comme facteur fixe. En revanche, ces modèles ne permettent pas de rendre compte directement du

lien temporel entre points successifs, et donc de la dynamique des trajectoires. En attendant de faire des modélisations dynamiques sur un nombre plus important de locuteurs, nous proposons ici, en complément, une analyse descriptive des données dynamiques, à partir de régressions *loess* des trajectoires de Freq_M par locuteur et par syllabe.

3 Résultats

Puisque le sexe des locuteurs a un effet significatif sur les valeurs de Freq_M ($\chi^2(1) = 14.9, p = 0.02$), avec des valeurs de Freq_M des femmes plus aigües que celles des hommes, nous continuons nos analyses sur les groupes hommes et femmes, séparément. Comme attendu, en contexte $[s_y]$, le bruit de la fricative est abaissé par rapport au contexte $[s_i]$, chez les hommes ($\chi^2(1) = 22.24, p < .0001$), comme chez les femmes ($\chi^2(1) = 9.68, p < .001$). Plus intéressant, il y a une interaction entre l'âge et le contexte vocalique ($\chi^2(1) = 46.45, p < .0001$ pour les femmes et $\chi^2(1) = 14.44, p = .0001$ pour les hommes). En effet, comme on le voit sur la figure 1, les personnes âgées anticipent l'arrondissement, mais dans une moindre mesure par rapport aux jeunes : la baisse de Freq_M entre les productions de $[s_i]$ et de $[s_y]$ est plus petite chez les personnes âgées. Chez les locutrices âgées, cette différence est même non significative ($z = 1.870, p = .06$). Cette diminution de l'anticipation d'arrondissement chez le groupe âgé est confirmée par l'effet significatif de l'âge sur l'écart moyen de Freq_M entre $[s_i]$ et $[s_y]$ ($F(3, 36) = 2.21, p < 0.05$, Figure 1).

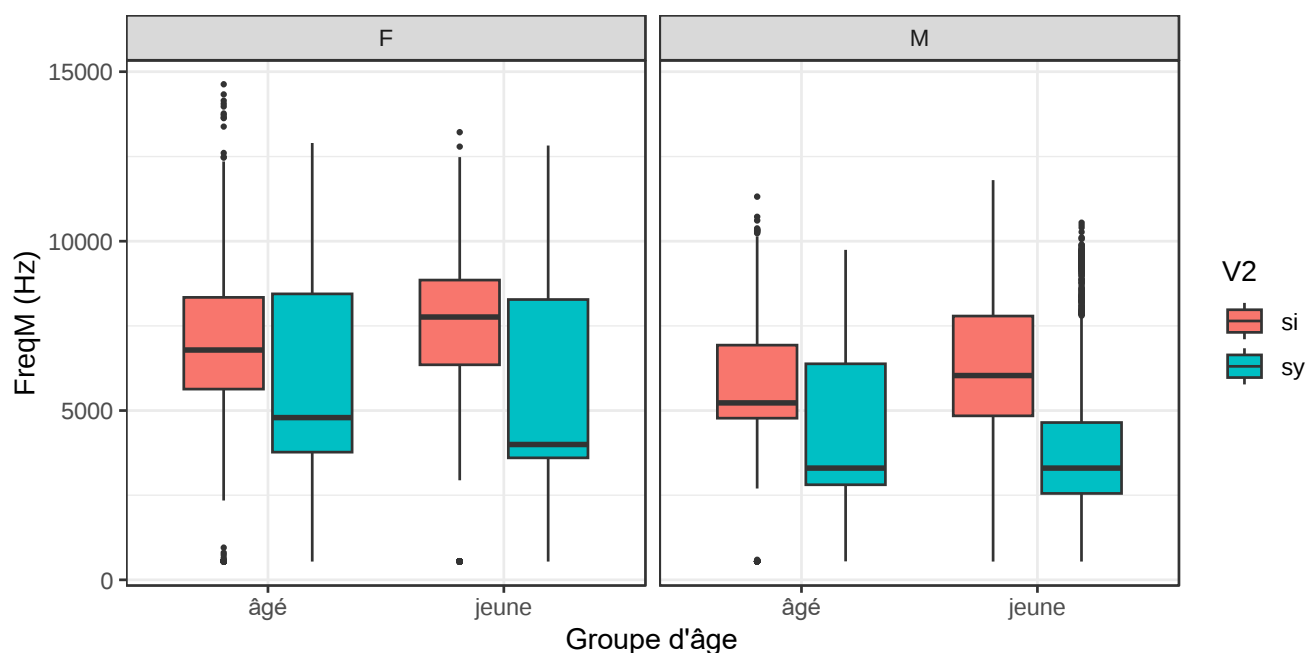


FIGURE 1 : Relation entre Freq_M (axe y, en Hz), les femmes (à gauche) et les hommes (à droite), pour les groupes âgé (à gauche dans les encadrés) et jeune (à droite dans les encadrés), et en fonction de la syllabe ($[s_i]$ en rouge, $[s_y]$ en bleu).

Pour ce qui est de la durée, les personnes âgées produisent des /s/ significativement plus longs que le groupe jeune, chez les hommes comme chez les femmes. Cette différence n'est dépendante de la voyelle suivante que dans le groupe des hommes, pour qui les $[s_i]$ sont significativement plus longs chez les hommes âgés, par rapport aux hommes jeunes ($z = 2.59, p < .01$). On trouve une corrélation positive modérée entre la quantité d'anticipation d'arrondissement et la durée des /s/ chez le groupe jeune ($r = .53$), mais pas chez le groupe âgé ($r = .21$). Les jeunes qui produisent des /s/ courts produisent plus de coarticulation, et inversement, mais cette relation n'est pas retrouvée chez les

locuteurs âgés. Les trajectoires moyennes des Freq_M de chaque locuteur sont représentées sur la Figure 2.

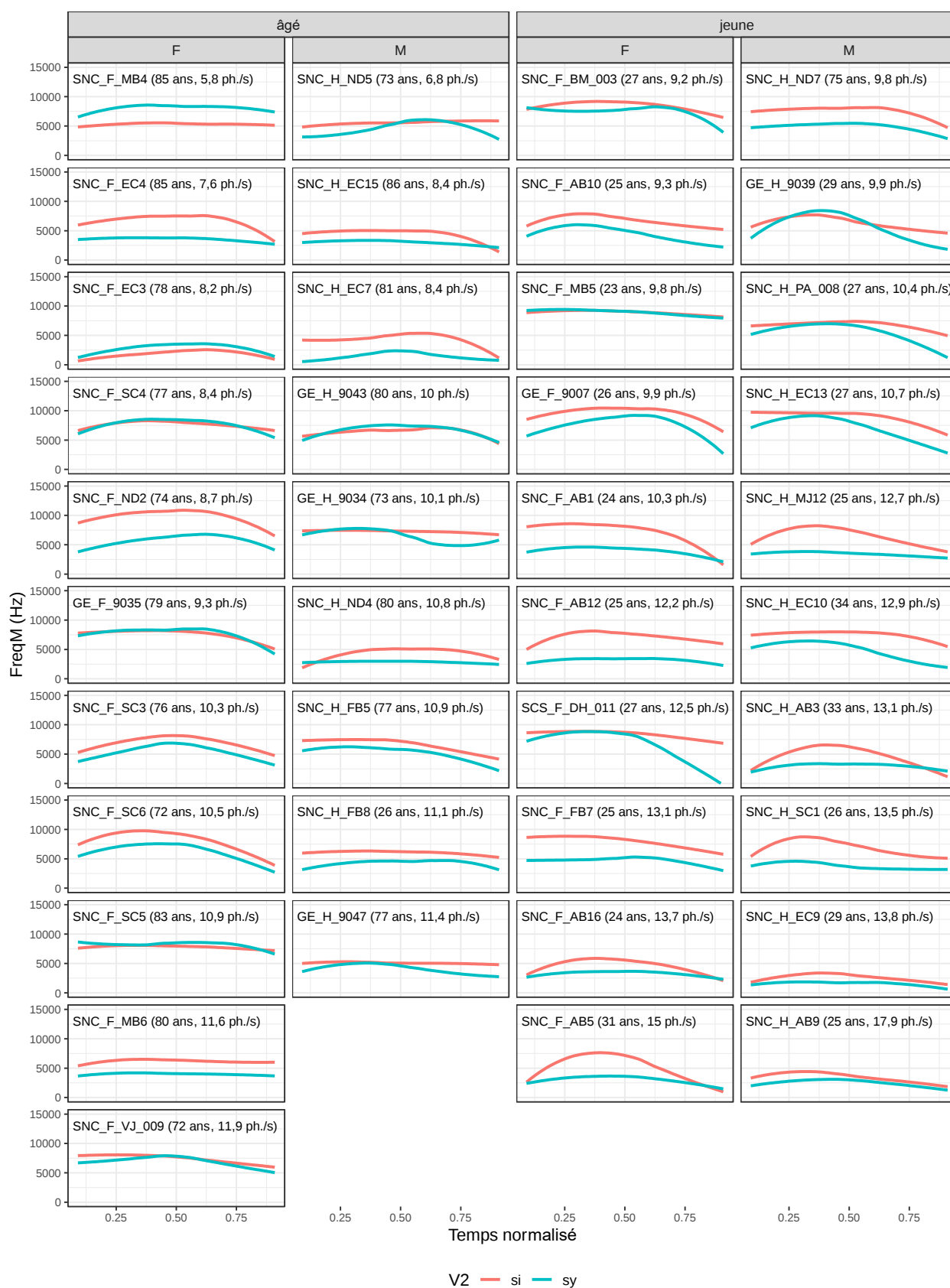


FIGURE 2 : Trajectoires moyennes, issues de modélisations *loess*, de la fréquence du pic spectral Freq_M pour les locuteurs âgés (colonne de gauche) et jeunes (droite), avec les femmes à gauche et

les hommes à droite dans chaque colonne. L'âge et le débit en phonèmes/seconde est indiqué pour chaque locuteur.

Dans la figure 2, l'âge du locuteur et le débit articulatoire en phonèmes/seconde ont été ajoutés à la suite du code de chaque locuteur. Par ailleurs afin de faciliter l'interprétation du lien potentiel entre débit et anticipation d'arrondissement, dans chaque sous-groupe les locuteurs sont ordonnés en fonction de leur débit, de haut en bas par débit croissant.

Les modèles linéaires mixtes par locuteur ont montré que, sur les 21 femmes de notre corpus, 9 locutrices ne présentent pas de différences significatives entre le $Freq_M$ de leurs $[s_y]$ et de leurs $[s_i]$. 6 de ces 9 locutrices sont âgées, ce qui confirme que la tendance à diminuer la quantité de coarticulation est une tendance majoritairement retrouvée chez les personnes âgées. Les 3 locutrices jeunes qui ne présentent pas de différence significative entre les $Freq_M$ de leurs $[s_i]$ et de leurs $[s_y]$ sont SNC_F_BM_003 (27 ans), SNC_F_AB16 (24 ans) et SNC_F_MB5 (23 ans). Chez les hommes, cette variabilité intra-groupe est moindre : seul GE_H_9043, qui est âgé, ne produit pas de différence significative entre ses $[s_y]$ et ses $[s_i]$.

L'observation qualitative de ces trajectoires nous permet d'apprécier la variabilité individuelle dans chacun des groupes : deux locuteurs présentant une différence significative entre leurs valeurs de $Freq_M$ pour $[s_i]$ et $[s_y]$ peuvent produire cette différence de multiples manières. Certains locuteurs vont produire l'anticipation d'arrondissement tôt dans la fricative, comme SNC_H_EC7 chez les hommes âgés, tandis que d'autres vont la produire plus tard, comme SCS_F_DH_011 chez les jeunes locutrices. Certains vont différencier leur $[s_y]$ et leurs $[s_i]$ par la hauteur de $Freq_M$, comme SNC_H_MJ12 chez les hommes jeunes, ou SNC_F_EC4 chez les femmes âgées.

4 Discussion & Conclusion

Nos résultats montrent que 6 femmes âgées de notre corpus ne produisent pas d'anticipation d'arrondissement dans leurs productions de $[s_y]$. 3 locutrices jeunes ne produisent pas non plus cette anticipation. De manière générale, on constate une grande variabilité inter-individuelle dans les effets de l'anticipation d'arrondissement sur les trajectoires de $Freq_M$ dans le groupe des femmes, que l'on retrouve dans une bien moindre mesure chez le groupe des hommes. Cette variabilité peut être due au /s/ lui-même, dont la production est dépendante de l'individu (Kavanagh, 2012), ainsi qu'à la variabilité individuelle que l'on retrouve dans la production de coarticulation (Guitard-Ivent et al., 2023).

La diminution d'anticipation d'arrondissement chez le groupe âgé, par rapport au groupe jeune, est similaire à ce qui a été trouvé par D'Alessandro & Fougeron (2021) : la coarticulation diminue avec l'âge, aussi bien au sein d'une syllabe qu'entre deux syllabes. Cela n'est pas lié au débit articulatoire : la faible corrélation entre la durée des /s/ et la quantité d'anticipation d'arrondissement le montre. Aussi, l'observation des valeurs de débit articulatoire nous permet de constater que, dans les groupes âgés hommes et femmes, certains locuteurs ont des valeurs de débit articulatoire proches, mais des quantités d'anticipation d'arrondissement très différentes (SNC_ND2_F et SNC_SC4_F dans le groupe des femmes âgées par exemple). Les personnes âgées ne produisent donc pas moins d'anticipation d'arrondissement simplement parce qu'ils parlent moins rapidement que les jeunes. La diminution de la coarticulation intra-syllabique que nous trouvons permet de remettre en question une des hypothèses émises par D'Alessandro & Fougeron (2021) : si l'explication de la réduction de coarticulation anticipatoire entre syllabes relevait d'une organisation de la parole sur des unités plus petites, chez les locuteurs âgés par rapport aux plus jeunes, alors on s'attendrait à ne pas trouver

de diminution d'une coarticulation anticipatoire à l'échelle intra-syllabique. Or, nous montrons que cette diminution intra-syllabique est présente. Cela sous-entendrait que l'unité de planification est encore plus petite chez les personnes âgées : ces locuteurs et locutrices planifieraient leur parole segment par segment. Or, une telle interprétation est peu plausible pour des adultes âgés sans pathologie. Une autre explication serait qu'avec l'âge, le contrôle moteur de la parole évolue (D'Alessandro et. al., 2020). Si les locuteurs jeunes peuvent adopter un "mode" de parole où les gestes articulatoires se chevauchent fortement, et où les cibles articulatoires peuvent ne pas être atteinte (hypoarticulées), les locuteurs âgés adoptent un "mode" différent pour leur mouvements articulatoires (entre autres mouvements). La paramétrisation motrice de leurs gestes articulatoires se fait de sorte que les gestes articulatoires se chevauchent moins, et que les cibles successives soient atteintes (hyper- ou non-hypoarticulées). Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour savoir quel paramétrage rend compte de ce mode de parole (augmentation de la rigidité (*stiffness*), décalage des phases, allongement des périodes d'activation, d'initiation/cessation (Hermes et. al., 2018), etc.). Il s'agira aussi de savoir si ce mode répond à une stratégie de compensation face à un déclin fonctionnel pour des gestes globalement plus précautionneux, s'il permet d'augmenter l'intelligibilité de la parole, ou s'il est seulement la conséquence d'un déclin au niveau du contrôle de cette activité motrice complexe qu'est la parole. Il est aussi important de prendre en compte les évolutions physiologiques qui viennent avec l'âge, spécifiquement la rigidification des tissus des lèvres et la détérioration des fibres musculaires, qui peuvent affecter le geste de protrusion des lèvres et ainsi jouer un rôle dans la réduction de coarticulation labiale que nous observons.

À la suite de cette étude, il sera nécessaire d'étendre nos analyses à une plus grande cohorte de locuteurs, de manière à pouvoir prendre en compte l'aspect dynamique dans nos modèles statistiques. Le but sera d'analyser les enregistrements d'une centaine de locuteurs, ayant entre 23 et 86 ans, afin de permettre une analyse de l'évolution des effets du vieillissement sur l'anticipation d'arrondissement, plutôt qu'une comparaison entre groupes d'âge, comme ici. En combinant notre méthodologie et un échantillon plus important, nous pensons pouvoir mieux cerner les effets de l'âge sur l'anticipation d'arrondissement, et ainsi proposer une explication à ces effets, qui nous éclairerait mieux sur le fonctionnement de la parole et son vieillissement.

Remerciements

Ce travail a été soutenu par le Laboratoire d'Excellence Empirical Foundations of Linguistics (LabEx EFL, ANR-10-LABX-0083). Il contribue à l'IdEx Université de Paris (ANR-18-IDEX-0001).

Références

- AL-TAMIMI J. & KHATTAB G. (2015). Acoustic cue weighting in the singleton vs geminate contrast in Lebanese Arabic: The case of fricative consonants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138(1), 344-360. DOI : [10.1121/1.4922514](https://doi.org/10.1121/1.4922514).
- AMERMAN, J. D. & PARNELL M. M. (1992). Speech timing strategies in elderly adults. *Journal of Phonetics*, 20(1), 65–76. DOI : [10.1016/s0095-4470\(19\)30254-2](https://doi.org/10.1016/s0095-4470(19)30254-2).
- BENDAT, J. S., & PIERSOL, A. G. (2000). *Random data: Analysis and measurement procedures (3rd ed.)*. New York, NY: Wiley.
- BÓNA, J. (2014). Temporal characteristics of speech: The effect of age and speech style. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 136, EL116–EL121. DOI : [10.1121/1.4885482](https://doi.org/10.1121/1.4885482)
- BORTFELD, H., LEON, S. D., BLOOM, J. E., SCHÖBER, M. F., and BRENNAN, S. E. (2001). Disfluency rates in conversation: effects of age, relationship, topic, role, and gender. *Lang. Speech* 44(2), 123–147. DOI : [10.1177/00238309010440020101](https://doi.org/10.1177/00238309010440020101)
- D’ALESSANDRO, D., & FOUGERON, C. (2021). Changes in Anticipatory VtoV Coarticulation in French during Adulthood. *Languages*, 6(181). DOI : [10.3390/languages6040181](https://doi.org/10.3390/languages6040181)
- D’ALESSANDRO, D., BOURBON, A., & FOUGERON C. (2020). Effect of age on rate and coarticulation across different speech tasks. Paper present at the *12th International Seminar on Speech Production*, Virtual. December 14–18; New Haven: Haskins Press. ISBN : 978-1-7360794-2-3.
- FUCHS, S. & TODA, M. (2010). Do differences in male versus female /s/ reflect biological or sociophonetic factors? In S. FUCHS, M. ZYGIS & M. TODA (Eds.), *Turbulent sounds: An interdisciplinary guide*. Mouton de Gruyter. 281-302. DOI : [10.1515/9783110226584.281](https://doi.org/10.1515/9783110226584.281)
- GUITARD-IVENT, F., WOHMANN-BRUZZO, L., AUDIBERT, N., FOUGERON, C. (2023). Speaker-specific anticipatory labial coarticulation in French. In: Radek Skarnitzl & Jan Volín (Eds.), *Proceedings of the 20th International Congress of Phonetic Sciences* (pp. 654–658). Guarant International.
- HERMES, A., MERTENS, J., & MÜCKE, D. (2018). Age-related Effects on Sensorimotor Control of Speech Production. *Proc. Interspeech 2018*, 1526-1530. DOI: [10.21437/Interspeech.2018-1233](https://doi.org/10.21437/Interspeech.2018-1233)
- JONGMAN, A., WAYLAND, R., & WONG, S. (2000). Acoustic characteristics of English fricatives. *J. Acoust. Soc. Am.* 108, 1252–1263. DOI : [10.1121/1.1288413](https://doi.org/10.1121/1.1288413)
- KAVANAGH, C. M. (2012). New consonantal acoustic parameters for forensic speaker comparison. Doctoral dissertation, University of York.
- KOENIG, L. L., SHADLE, C. H., PRESTON, J. L., et MOOSHAMMER, C. R. (2013). Toward improved spectral measures of /s/: Results from adolescents. *J. Speech Lang. Hear. Res.* 56(4), 1175–1189. DOI : [10.1044/1092-4388\(2012/12-0038\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2012/12-0038))
- LINVILLE, S. E. (1987). Acoustic-perceptual studies of aging voice in women. *Journal of Voice*, 1, 44–48. DOI : [10.1016/S0892-1997\(87\)80023-1](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(87)80023-1)
- MARTINS-REIS, V. D. O. & DE ANDRADE, C. R. F. D. (2011). Study of pauses in elderly. *Rev. Soc. Bras. Fonoaud.* 16(3), 344–349. DOI : [10.1044/1092-4388\(2012/12-0038\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2012/12-0038))
- QUENÉ, H. (2013). Longitudinal trends in speech tempo: The case of queen Beatrix. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133, EL452–EL457. DOI : [10.1121/1.4802892](https://doi.org/10.1121/1.4802892)
- RAMIG, L. A. (1983). Effects of physiological aging on speaking and reading rates. *Journal of Communication Disorders*, 16, 217–26. DOI : [10.1016/0021-9924\(83\)90035-7](https://doi.org/10.1016/0021-9924(83)90035-7)

- RODRIGUEZ-ARANDA, C. & JAKOBSEN, M. (2011). Differential contribution of cognitive and psychomotor functions to the age-related slowing of speech production. *J. Int. Neuropsych. Soc.* 17, 1–15. DOI: [10.1017/S1355617711000828](https://doi.org/10.1017/S1355617711000828)
- SHADLE, C. H., CHEN, W.-R., KOENIG, L. L., & PRESTON, J. L. (2023). Refining and extending measures for fricative spectra, with special attention to the high-frequency range. *Journal of the Acoustical Society of America*, 154(3), 1932-1944. DOI: [10.1121/10.0021075](https://doi.org/10.1121/10.0021075)
- STUART-SMITH, J. (2007). Empirical evidence for gendered speech production: /s/ in Glaswegian, in *Laboratory Phonology 9*, edited by J. Cole and J. Hualde (Mouton de Gruyter, Berlin), 65–86. ISBN: 9783110186833
- STUART-SMITH, J., TIMMINS, C., & TWEEDIE, F. (2007). Talkin' 'Jocney' ? Variation and change in Glaswegian accent. *Journal of Sociolinguistics*, 11(2), 221-260. DOI: [10.1111/j.1467-9841.2007.00319](https://doi.org/10.1111/j.1467-9841.2007.00319).
- TUCKER, B. V., FORD, C., HEDGES, S. (2021). Speech aging: Perception and Production. *WIREs Cognitive Science*, e1557. DOI: [10.1002/wcs.1557](https://doi.org/10.1002/wcs.1557)
- YAN, J. H., THOMAS, J. R., & STELMACH, G. E. (1998). Aging and rapid arm movement control. *Experimental Aging Research*, 24, 155–168. DOI: [10.1080/036107398244292](https://doi.org/10.1080/036107398244292)
- YENI-KOMSHIAN, G. H., & SOLI, S. D. (1981). Recognition of vowels from information in fricatives: Perceptual evidence of fricative-vowel coarticulation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 70, 966–975. DOI: [10.1121/1.387031](https://doi.org/10.1121/1.387031)
- XUE, S. A., & HAO, G. J. (2003). Changes in the human vocal tract due to aging and the acoustic correlates of speech production: A pilot study. *J. Speech Lang. Hear. Res.* 46, 689–701. DOI: [10.1044/1092-4388\(2003/054\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2003/054))