

Comparaison des stratégies articulatoires d'un locuteur bilingue anglais-français: Données et modèles préliminaires

Pierre Badin¹ Thomas R. Sawallis² Laurent Lamalle³

(1) GIPSA-Lab / DPC, UMR 5216, CNRS – Université de Grenoble Alpes, France

(2) New College, University of Alabama, Tuscaloosa, AL 35487, USA

(3) Inserm US 17 — UMS IRMaGe – Université de Grenoble Alpes, France

pierre.badin@gipsa-lab.grenoble-inp.fr, tom.sawallis@ua.edu

RESUME

Notre objectif est de comparer les stratégies articulatoires utilisées par les bilingues, afin de mieux comprendre et le bilinguisme et les différences entre langues. Nous avons donc acquis des images IRM médiosagittales pour tous les phonèmes produits par un locuteur bilingue dans sa langue maternelle, l'anglais américain (AE), et en français (FR) qu'il maîtrise à très haut niveau. Nous avons comparé les contours de ses articulateurs entre les deux langues : (1) comparaisons directes des contours de phonèmes analogues, (2) comparaison des nomogrammes articulatoires générés par les modèles des deux langues, et (3) reconstruction croisée des articulations d'une langue par un modèle basé sur l'autre. Il est apparu, entre autres observations intéressantes, que la protrusion labiale vocalique s'étend davantage en FR qu'en AE, et que les mouvements du corps de la langue sont plus grands et plus orientés vers l'avant pour l'AE.

ABSTRACT

Comparing articulatory strategies in an English/French bilingual speaker: Data and preliminary models

Our goal is to compare the articulatory strategies used by bilinguals, to better understand both bilingualism and the differences between languages. We have therefore obtained mid-sagittal MRI scans of a bilingual talker producing all the phonemes in both his native American English (AE) and in French (FR), a second language in which he is highly fluent. We have compared his articulatory contours in the two languages with: 1) direct comparison of the contours of analogous phonemes, 2) comparison of articulatory nomograms, and 3) crossed reconstructions of one language's articulations by a model based on the other language. Various interesting observations were made, including that labial protrusion in vowels is greater in FR than in AE, and that tongue body movements were greater and more oriented toward fronting in AE than in FR.

MOTS-CLES : Bilinguisme, français, anglais américain, articulation, IRM, mesure articulatoire, modèle articulatoire.

KEYWORDS: Bilingualism, French, American English, articulation, MRI, articulatory measurement, articulatory model.

1 Introduction

Une meilleure connaissance comparative des comportements phonétiques des bilingues dans leurs diverses langues est d'un grand intérêt en soi, mais aussi dans la perspective d'applications pour l'apprentissage des langues secondes (L2). La plupart des études liées à ces questions portent soit sur le bilinguisme soit sur l'articulation, mais la littérature associant les deux aspects semble très pauvre, et vise en général deux thèmes.

Une première série d'études porte sur la *posture articuloire* (PA) (en anglais *articulatory setting*), définie par Honikman (1964) (cité par Mennen, Scobbie, de Leeuw, Schaeffler & Schaeffle, (2010) comme la configuration phonétique – spécifique à une langue – vers laquelle le conduit vocal a tendance à retourner habituellement lors des pauses. Mennen, Scobbie et al. (2010) mentionnent la difficulté à séparer l'influence de la PA d'autres aspects du langage tels que l'inventaire phonémique, et indiquent que la variabilité interlocuteurs qui affecte la plupart des mesures peut masquer les différences de PA entre langues. Wilson (2006) s'est servi de l'Optotrak et de l'ultrason pour caractériser respectivement la position de la mandibule et la forme de la langue dans la *posture inter-énoncés* (PIE) (*Inter-speech posture*) comme estimation de la PA. Il a trouvé que la PIE permet de distinguer parmi ses sujets canadiens les groupes francophone et anglophone, ce dernier ayant en moyenne une pointe de langue plus élevée, des lèvres plus protruses et une ouverture labiale horizontale plus étroite. En outre, il a trouvé que les bilingues les meilleurs (jugés natifs par des monolingues des deux langues) ont bien des PIE différentes et proches des monolingues pour leurs deux langues. Il conseille l'enseignement de la PA aux apprenants en langues secondes, ce qui est peut-être prématuré, vu l'absence de démonstration que la PA soit la source d'accents étrangers ou d'erreurs segmentales précises.

L'autre thème, classique en recherche sur le bilinguisme, est l'étude du transfert, c'est-à-dire l'apport chez un locuteur de sa langue maternelle dans l'utilisation d'une langue seconde, ici aux niveaux phonologique et articuloire. Tepperman, Bresch, Kim, Lee, Goldstein & Narayanan (2009) cherchent à mettre en évidence des traces de *transfert phonologique* mesurables au niveau articuloire. A l'aide de vidéos IRM ils comparent les contrastes /v-w/ et /d-ð/ en anglais chez 3 américains et 3 allemands en L2. Les allemands affichent certaines différences articuloires entre les phonèmes, mais sensiblement moins que les américains natifs. En outre, là où manquent les différences, les substituts ne sont pas différenciés de leur allemand natif, ce qui implique le transfert attendu de leur L1 vers leur L2.

Oh (2002) étudie par échographie les différences de timing et d'articulation entre les productions de /l/ en anglais et en coréen pour des enfants monolingues et bilingues, et montre que les bilingues mélangent les gestes spécifiques aux deux langues.

Zerling (1992) a mesuré les dimensions de l'ouverture aux lèvres des voyelles, pour le français à partir d'images que lui-même a prise, et pour l'anglais américain à partir de deux études publiées par Fromkin (1964) et Linker (1982). Son analyse contraste non seulement les deux langues, mais aussi les deux études de l'anglais : il trouve que la simple dimension de labialisation phonologique ne suffit pas pour expliquer les différences. Il ajoute des dimensions de *type*, *degré* et *stratégie de labialisation* pour tout prendre en compte et bien différencier les langues. Malheureusement, ces études ne s'étendent pas aux bilingues dans leurs langues secondes, donc on ne peut rien savoir sur leur comportement articuloire.

Montagu (2002) compare les formes labiales et les productions acoustiques des voyelles orales, nasales, et nasalisées du français chez des locuteurs natifs et des américains anglophones dans leur français, langue seconde. Elle trouve que les français distinguent les nasales arrières /ã õ/ de leurs équivalents orales non seulement par la simple nasalisation phonétique mais aussi par l'arrondissement (réduction de l'aire aux lèvres) et par la protrusion. Pour /ã/, les américains bilingues reproduisent à peu près les articulations des français natifs. Par contre, ils ne reproduisent pas le *sur-arrondissement* des français dans leur /õ/, version nasale d'une voyelle déjà arrondie. Ceci semble montrer que ni la PA, ni le transfert phonologique ne suffisent à expliquer l'articulation des bilingues d'une façon globale, et qu'il faille les deux, plus une analyse propre à chaque phonème, pour comprendre la globalité des stratégies articulatoires.

Les limites de cette littérature ont motivé notre étude expérimentale et modélisatrice de l'articulation d'un locuteur anglais américain natif ayant acquis tardivement une très haute maîtrise du français. Cette étude vise à mettre en évidence les similitudes et les différences générales de stratégies articulatoires entre langues, un domaine plus large que la PA ou le transfert. Les principales étapes de l'étude ont été : (1) l'acquisition et le traitement des données IRM, (2) la comparaison directe de phonèmes analogues, (3) le développement de modèles articulatoires, et (4) la comparaison globale des deux systèmes articulatoires basée sur les modèles ainsi développés.

2 Acquisition et traitement des données articulatoires

Le locuteur, né et élevé en Floride du Sud, région alors monolingue mais avec un mélange de dialectes, a suivi quatre années de cours de français dans le secondaire, et quatre années à l'université. A 24 ans, il s'installe à Grenoble, où il fait 3 années d'études en linguistique, et plus tard 2 autres séjours sabbatiques, cumulant plus de 6 ans en milieu francophone. Pour la présente étude, il a été enregistré en deux sessions à six semaines d'intervalle, une fois en anglais américain (AE) et l'autre en français (FR), suivant un protocole standard (*cf.* Badin & Serrurier (2006) pour les détails). Lors de chaque session, seule la langue concernée était utilisée pour les interactions avec les opérateurs, de façon à maintenir le locuteur dans un mode monolingue pour chaque langue à enregistrer.

Les données IRM ont été acquises à l'aide d'un imageur Philips Achieva 3.0T TX, avec une antenne neurovasculaire SENSE, en mode d'écho de spin turbo (TSE, TE = 10,7 ms, Flip angle = 80°, TR = 426 ms). L'acquisition de chaque image médiosagittale (épaisseur de 4 mm, résolution à l'acquisition de 1 mm / pixel, champ de vue de 256×256 mm²) prenait 8,1 secondes, pendant lesquelles le locuteur devait maintenir une articulation fixe, condition que l'on pourrait comparer à un « arrêt sur image ».

Le corpus anglais comprenait 189 éléments : d'une part les voyelles /i ɪ e ε æ α¹ ɔ o u ʌ ə ɹ/, prononcées en isolation, dans quatre contextes CVC /m ɪ t/ et [ɹ]², dans une liste de 17 mots naturels, et suivies par /ɪ/ dans une liste de 14 mots naturels ; d'autre part toutes les consonnes /p t k f θ s ʃ m n ŋ ɹ tʃ j w/ et [ɹ] dans six contextes vocaliques symétriques VCV /i e æ a o u/; enfin les diphtongues isolées /au ɔi ai/ bloquées sur leur partie initiale. Le corpus français comprenait

¹ Dans ce travail préliminaire, nous considérerons que les /α/ AE et /a/ FR sont analogues. Il semblerait cependant que le locuteur le réalise comme [ɐ] dans son AE maternel, plus central que le [a] FR qu'il a appris à produire. Ce point fera l'objet d'une étude complémentaire.

² Nous avons profité de l'occasion d'enregistrer cette variante rétroflexe du /ɹ/, non-native à notre locuteur, mais qu'il sait articuler de par ses études phonétiques. Ceci fera aussi l'objet d'études complémentaires.

143 éléments : les voyelles orales /i e ε a o u y ø œ/ et nasales /ã ã ã/, et les consonnes /p t k f s ʃ m n ɾ l/ dans les treize contextes vocaliques. Notons que seules les versions sourdes des occlusives et des fricatives ont été utilisées (le voisement ne pouvant pas être maintenu durant les 8,1 secondes de prise de vue IRM). Notons en complément que, dû à la limitation de la durée des séances d'enregistrement, chaque articulation n'a été prononcée qu'une fois.

Suivant la procédure décrite dans Badin & Serrurier (2006), les contours des divers organes déformables ont été manuellement créés et ajustés à partir des images médiosagittales, tandis que les contours des structures rigides ont été positionnés manuellement par translation et rotation. Toutes les articulations ont été finalement alignées entre elles grâce aux structures rigides crâniennes de façon à pouvoir être comparées par simple superposition et être utilisées pour la modélisation.

3 Comparaison deux à deux de phonèmes analogues

Nous avons comparé deux à deux les phonèmes analogues³ entre les deux langues. Pour les voyelles isolées /i e ε a o u/, les principales différences se situent aux lèvres, plus protruses pour le /u/ FR et plus fermées pour le /o/ FR ; pour la langue, nous notons un recul pour le /u/ FR, un abaissement et un bombement pour le /o/ FR, et un abaissement pour le /a/ FR (voir des exemples à la Figure 1).

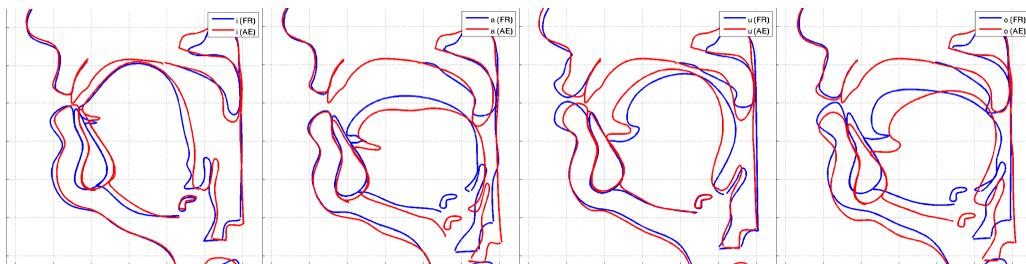


FIGURE 1– Superposition des voyelles isolées /i a u o/ en AE (rouge) et FR (bleu).

La comparaison de consonnes /p t k f s ʃ m n/, analogues dans les deux langues, dans les cinq contextes vocaliques /i e a o u/ analogues, montre à nouveau que les principales différences portent sur les lèvres en contexte /u/ pour toutes les consonnes, ainsi qu'en contexte /o/ pour /t f s m n/, la protrusion étant plus marquée en français qu'en anglais. On trouve également des différences linguales : la langue est plus reculée pour le français que pour l'anglais pour toutes les consonnes en contexte /u/ excepté pour /n/. On trouve par ailleurs de petites différences d'articulation linguale pour les consonnes labiales /p f m/, ce qui est logique puisque la langue n'est pas vraiment spécifiée pour ces consonnes.

³ L'inventaire des phonèmes en L1 permet de répartir ceux de la L2 en différentes classes, par exemple *identique*, *similaire*, ou *nouveau*, termes qui ont des valeurs théoriques reposant en partie sur des critères perceptuels et phonologiques (Flege, 1987; Escudero, 2007). Comme nous ne cherchons dans le présent travail qu'à comparer les seules articulations, entre autres pour quantifier leur similitude, nous avons choisi le terme *analogue* comme terme pré-théorique pour les paires de sons L1-L2 qui se trouvent vers le côté *identique* de l'échelle, plutôt que le côté *dissimilaire*.

De manière attendue, les comparaisons des paires, analogues du point de vue phonologique, /ɪ-ɛ/ et /t-l/ dans les cinq contextes vocaliques /i e a o u/ fait apparaître d'importantes différences. En particulier, nous avons trouvé un plus grand abaissement du corps de la langue pour le /t/ AE sombre vélarisé que pour le /l/ FR clair laminal (voir des exemples à la Figure 2).

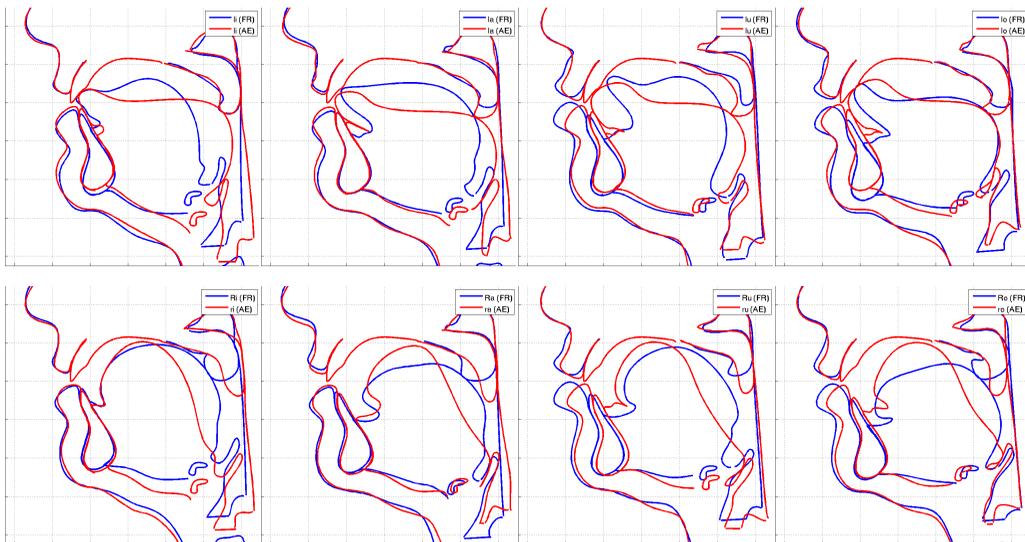


FIGURE 2 – Superposition des consonnes /t-l/ (haut) et /ɪ-ɛ/ (bas) en AE (rouge) et en FR (bleu) en contexte /i a u o/.

4 Modèles articulatoires

L'étape suivante a consisté à comparer les espaces articulatoires des deux langues à un niveau plus global, par modélisation articulatoire. Nous avons donc construit des modèles articulatoires à partir de différents sous-ensembles de la base de données des contours, en utilisant les méthodes de décomposition linéaire décrites par Badin, Valdés Vargas, Koncki, Lamalle & Savariaux (2013). Le principe général consiste à modéliser les coordonnées X et Y de chaque point de contour comme une combinaison linéaire de paramètres de contrôle, en addition à une constante obtenue comme la moyenne de la coordonnée sur le corpus. Pour la langue, les composantes contrôlées par les paramètres *JH*, *TB*, *TD*, et *TTV* correspondent respectivement à l'influence de l'ouverture de la mâchoire, au déplacement du corps de la langue, à la forme bombée ou plate du corps, et aux mouvements verticaux de l'apex. Pour les lèvres, les mesures de protrusion (*UL_pro* et *LL_pro*) et de hauteur (*UL_hei* et *LL_hei*) de chaque lèvre ont été utilisées comme paramètres complémentaires au paramètre de hauteur de mâchoire *JH*. Nous avons construit ces modèles pour six corpus différents : les voyelles orales pour FR (10) et AE (13), les voyelles et consonnes analogues pour FR et AE (45), et les corpus complets FR (143) et AE (189). Pour les corpus complets les erreurs RMS de reconstruction vont de 0,5 mm pour la lèvre supérieure à 1,7 mm pour la langue pour l'anglais, et de 0,5 mm à 1,4 mm pour le français. Ces résultats sont tout à fait comparables avec ceux documentés dans d'autres études de ce type.

Pour illustrer le comportement de ces modèles, nous avons généré des nomogrammes, *i.e.* affiché la variation de la forme des articulateurs pour un balayage systématique des paramètres de contrôle du modèle dans les gammes qui résultent de l'analyse fondatrice du modèle. Chaque figure montre les variations d'un ou deux paramètres.

La Figure 3 illustre le fait que la protrusion labiale pour les voyelles a une plus grande étendue de mouvement en FR qu'en AE, ce qui généralise les observations faites à la section 3. La différence est moins claire lorsqu'elle est masquée par la coarticulation consonantique (d'où notre choix d'un sous-ensemble réduit aux voyelles du corpus). La Figure 3 illustre aussi les différences pour la composante corps de la langue TB entre FR and AE: le mouvement vertical est clairement plus grand et plus oblique vers l'avant en AE qu'en FR, surtout lorsque les corpus complets sont considérés. Cela correspond en particulier aux différences d'articulation /ɪ-ɛ/ que l'on peut observer sur la Figure 2.

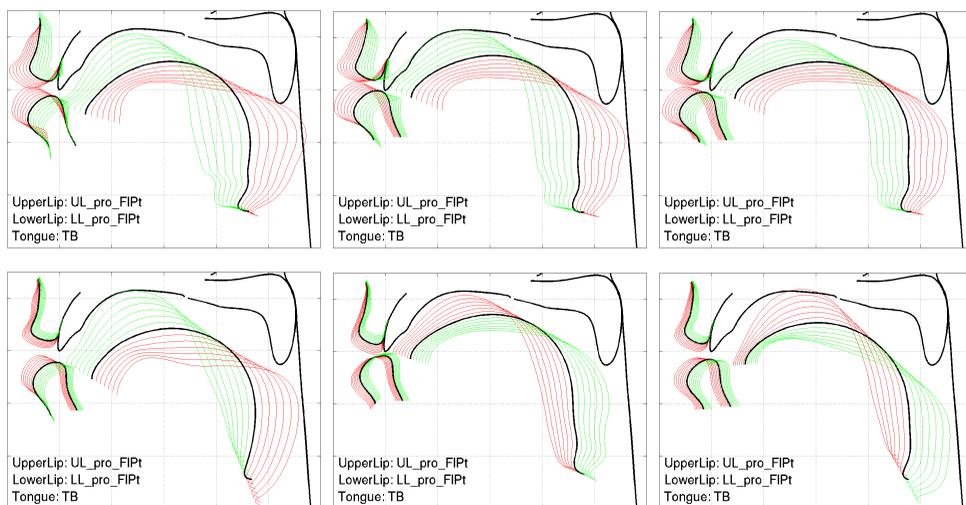


Figure 3 – Nomogrammes de lèvres pour les paramètres de protrusion UL_pro et LL_pro, et de langue pour le paramètre de corps de langue TB variant de -3 à +3 par pas de 0,5 écarts-type (haut : FR, bas : AE ; gauche : voyelles, milieu : consonnes analogues, droite : toutes les articulations).

La Figure 4 montre un mouvement vertical de la lèvre inférieure légèrement plus marqué pour le français que pour l'anglais. La composante dos de la langue *TD* pour les voyelles de l'anglais comme pour le corpus complet anglais montre clairement une capacité plus grande à se bomber vers le velum que pour le français. Ceci est vraisemblablement lié à la forme particulière bombée (*bunched*) vers l'avant du /ɪ/ anglais.

La Figure 5 semble montrer que les mouvements de la pointe de la langue sont plus localisés vers l'extrémité en français qu'en anglais: ceci pourrait être dû, entre autres raisons, à la

vélarisation associée au /t/ sombre anglais, on peut observer une trace sur les mouvements du corps de langue associés à cette composante pour l'anglais (mais pas pour le français), comme on le voit sur la colonne de droite de la Figure 5.

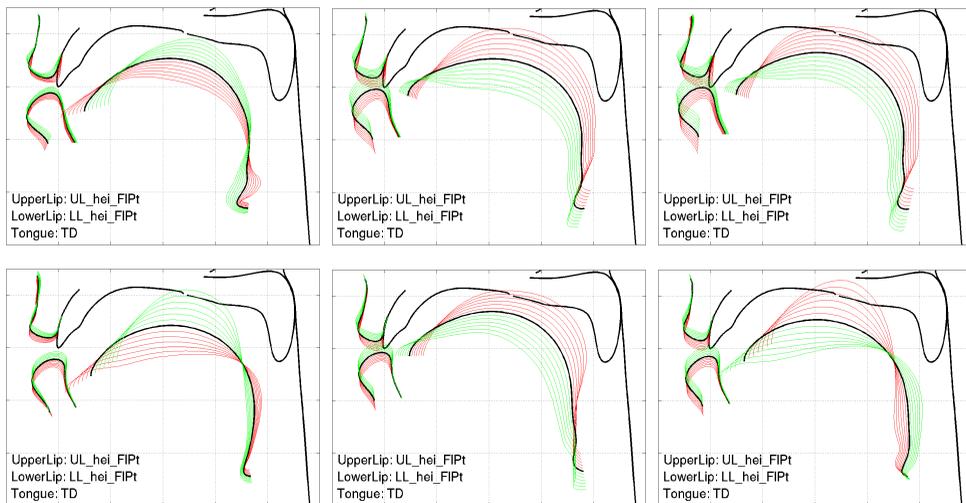


FIGURE 4 – Nomogrammes de lèvres pour les paramètres de hauteurs labiales UL_hei et LL_hei , et de langue pour le paramètre de dos de langue TD variant de -3 à $+3$ par pas de $0,5$ écarts-type (haut : FR, bas : AE ; gauche : voyelles, milieu : consonnes analogues, droite : toutes les articulations).

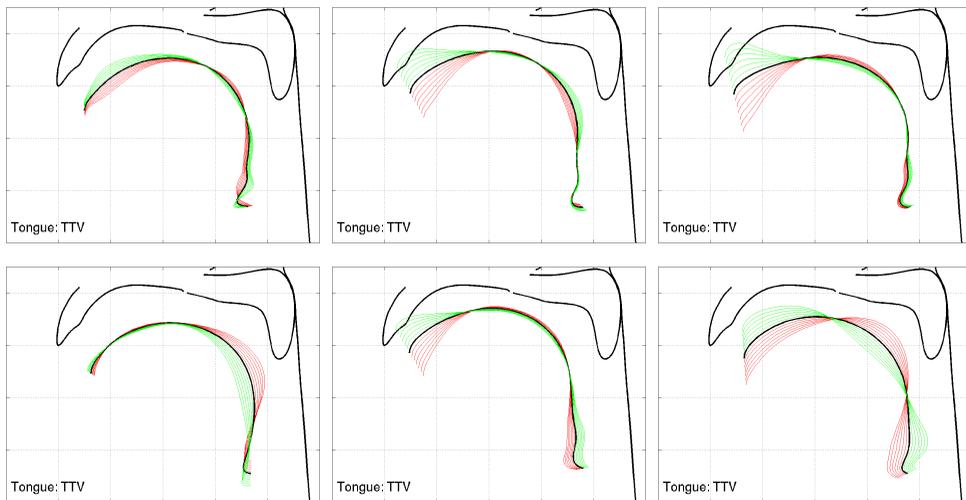


FIGURE 5 – Nomogrammes de langue pour le paramètre de pointe de langue vertical TTV variant de -3 à $+3$ par pas de $0,5$ écarts-type (haut : FR, bas : AE ; gauche : voyelles, milieu : consonnes analogues, droite : toutes les articulations).

5 Perspectives d'évaluation par modélisation croisée

Afin d'évaluer le recouvrement entre les espaces articulatoires pour l'anglais et le français, nous avons suivi la méthodologie proposée par Serrurier, Badin, Barney, Boë & Savariaux (2012) pour comparer les articulations en parole et déglutition: nous avons construit un modèle pour chaque langue, basé chacun sur ses propres voyelles et consonnes. Nous avons ensuite utilisé chaque modèle pour reconstruire les articulations de l'autre langue : nous avons généré du français avec le modèle anglais et vice versa. Ces simulations n'ont pas encore permis de dégager des différences significatives de reconstruction croisées : il est possible que, même si leurs composantes possèdent des caractéristiques différentes, les deux modèles puissent servir à représenter les données aussi bien du français que de l'anglais.

6 Conclusions et autres perspectives

Nous avons acquis un large ensemble de contours articulatoires produits par un locuteur bilingue à la fois dans sa langue maternelle AE et une langue seconde FR. Nous avons comparé ses articulations en AE et FR, à savoir: (1) comparaisons directes deux à deux des contours, (2) comparaison des nomogrammes articulatoires obtenus à partir de divers modèles articulatoires élaborés à partir de différentes sous-ensembles de phonèmes, et (3) reconstruction articulatoire croisée des articulations d'une langue à partir du modèle élaboré avec l'autre langue. Malgré les contraintes imposées au locuteur par les limites de l'IRM statique, cette étude a généré une variété de résultats intéressants et utiles pour la recherche à l'intersection de la parole et du bilinguisme. Dans une prochaine étape, nous utiliserons des techniques d'IRM dynamique, et nous inclurons l'enregistrement simultané et l'analyse des sons associés avec les articulations. Outre les conditions plus naturelles d'élocution, cette méthode permettra d'obtenir une quantité de données beaucoup plus considérable et de pouvoir envisager des comparaisons dont on pourra évaluer plus rigoureusement le niveau de signification. Nous devons également mettre en œuvre des techniques pour évaluer plus précisément le degré de bilinguisme du locuteur. A plus long terme, nous envisageons d'enregistrer plus de locuteurs / paires de langues avec des locuteurs bilingues à différents degrés. Des applications dans le domaine de l'apprentissage de la prononciation aidée par ordinateur (en anglais CAPT, *Computer Aided Pronunciation Training*) seront également explorées.

Remerciements

Nous remercions bien sincèrement Simon Crépel pour avoir tracé de manière soignée les contours articulatoires pour les deux corpus.

Références

BADIN, P. & SERRURIER, A. (2006). Three-dimensional modeling of speech organs: Articulatory data and models. In *IEICE Technical Report* pp. 29-34. Kanazawa, Japan: The Institute of Electronics, Information, and Communication Engineers.

BADIN, P., VALDÉS VARGAS, J.A., KONCKI, A., LAMALLE, L. & SAVARIAUX, C. (2013). Development and implementation of fiducial markers for vocal tract MRI imaging and speech articulatory modelling. In *Proceedings of Interspeech 2013*, pp. 1321-1325. Lyon, France.

- ESCUDERO, P. (2007). Second-Language phonology: The role of perception. In *Phonology in context* (M.C. Pennington Ed.), pp. 109-134. Basingstoke, England: Palgrave Macmillan.
- FLEGE, J.E. (1987). The production of "new" and "similar" phones in a foreign language: Evidence for the effect of equivalence classification. *Journal of Phonetics*, 15, 47-65.
- FROMKIN, V. (1964). Lip positions in American English vowels. *Language and Speech*, 7, 215-225.
- HONIKMAN, B. (1964). Articulatory settings. In *In honour of Daniel Jones* (D. Abercrombie, D.B. Fry, P.A.D. MacCarthy, N.C. Scott & T.J.L. M, Eds.), pp. 73-84. London: Longman.
- LINKER, W.J. (1982). *Articulatory and acoustic correlates of labial activity: a cross-linguistic study*. UCLA, Los Angeles, USA.
- MENNEN, I., SCOBIE, J.M., DE LEEUW, E., SCHAEFFLER, S. & SCHAEFFLER, F. (2010). Measuring language-specific phonetic settings. *Second Language Research*, 26(1), 13-41.
- MONTAGU, J. (2002). L'articulation labiale des voyelles nasales postérieures du français : comparaison entre locuteurs français et anglo-américains. In *Actes des XXIV^{èmes} Journées d'études sur la Parole*, pp. 253-256. Nancy, France.
- OH, S. (2002). Cross-language blending of /l/ gestures by Korean-English bilingual children. In *Proceedings of the 26th annual Boston University Conference on Language Development* (B. Skarabela, S. Fish & A.H.-J. Do, Eds.), pp. 473-484.
- SERRURIER, A., BADIN, P., BARNEY, A., BOË, L.-J. & SAVARIAUX, C. (2012). The tongue in speech and feeding: Comparative articulatory modelling. *Journal of Phonetics*, 40, 745-763.
- TEPPERMAN, J., BRESCH, E., KIM, Y.-C., LEE, S., GOLDSTEIN, L. & NARAYANAN, S.S. (2009). An articulatory analysis of phonological transfer using real-time MRI. In *Proceedings of Interspeech 2009*, pp. 700-703. Brighton, UK.
- WILSON, I.L. (2006). *Articulatory settings of French and English monolingual and bilingual speakers*. University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- ZERLING, J.-P. (1992). Frontal lip shape for French and English vowels. *Journal of Phonetics*, 20, 3-14.