



La parole sans les lèvres : une étude acoustique et articulatoire

Hannah King¹ Emmanuel Ferragne¹

(1) Université Paris Diderot, CLILLAC-ARP, 5 rue Thomas Mann, 75013 Paris, France
hannah.king@univ-paris-diderot.fr, emmanuel.ferragne@univ-paris-diderot.fr

RESUME

Cet article évalue le potentiel d'un écarteur de lèvres pour les études phonétiques sur la perturbation. Cet appareil est désormais utilisé dans le « défi de l'écarteur de bouche » qui est devenu un véritable phénomène internet. Lors du port de l'appareil, les mouvements des lèvres sont rendus impossibles. Les données acoustiques et articulatoires de quatre locuteurs d'anglais britannique sont présentées. Un accéléromètre est utilisé pour évaluer la dynamique de la mâchoire et l'échographie linguale nous donne les informations sur les éventuelles stratégies de compensation, notamment pour la voyelle /u/. Grâce aux données échographiques, nous observons une rétraction de la langue pour /u/ perturbé, ce qui ne figure pas dans les données acoustiques correspondantes. Cette étude souligne donc les limitations d'une analyse purement acoustique de la parole perturbée. Malgré ses inconvénients, nous concluons que l'utilisation d'un écarteur de lèvres est une technique prometteuse pour la recherche sur la perturbation labiale.

ABSTRACT

Speech without lips: an acoustic and articulatory study

This paper studies the use of a lip retractor as a potential technique for phonetic studies involving perturbation. This device is currently used by participants of the internet sensation, the so-called “no lips” or “mouth guard” challenge. Wearing the device restricts the use of the lips during speech. We present acoustic and articulatory data from four speakers of British English. Accelerometer data is used to assess the dynamics of the jaw and ultrasound tongue imaging gives us insights into potential compensation strategies, specifically for the /u/ (GOOSE) vowel. Ultrasound data revealed that three speakers showed signs of tongue retraction for perturbed /u/, which was not reflected in the corresponding acoustic data. This study highlights the limitations of a purely acoustic analysis of the effects of perturbation on speech. Despite certain limitations, we conclude that the use of the lip retractor is a promising technique for future lip perturbation studies.

MOTS-CLES : Perturbation labiale, stratégies de compensation, échographie linguale, corrélats acoustiques-articulatoires, anglais britannique, antériorisation de GOOSE

KEYWORDS: Lip perturbation, compensation strategies, ultrasound tongue imaging, acoustic-articulatory correlates, British English, GOOSE fronting

1 Introduction

De nombreuses études se sont intéressées à la perturbation mécanique des articulateurs afin de répondre à certaines questions importantes sur la nature de la production de la parole. Une perturbation dans la cavité orale nous oblige à développer de nouvelles stratégies pour produire le son désiré. Les études précédentes ont démontré que les locuteurs sont capables de reproduire une

cible acoustique donnée en ayant recours à une réorganisation des articulateurs, ce qui suggère que la production est de nature auditive et non pas articuloire. Par exemple, Riordan (1977) a observé un geste laryngal atypique suite à une perturbation des lèvres pour /y/ en français. Cependant le degré de succès de la compensation peut varier. Dans une autre étude avec une perturbation des lèvres, malgré des tentatives de reconfiguration des articulateurs, certains participants ont finalement privilégié leur articulation canonique et par conséquent, n'ont pas réussi à optimiser leur production de /u/ perturbé (Savariaux et al., 1995 ; Savariaux et al., 1999). Nos stratégies articuloires habituelles jouent donc un rôle dans les primitives phonologiques de la production de la parole (Perrier, 2005).

Plusieurs dispositifs ont été employés pour créer une perturbation mécanique dans le conduit vocal, y compris des cale-dents, des tubes tenus entre les lèvres, et des prothèses palatales. Cet article s'intéresse à l'effet d'un écarteur de lèvres (également connu sous le nom d'embout ou d'ouvre bouche), un appareil qui se place entre les lèvres et les dents de manière à ce qu'il touche l'intérieur de la joue. Il ouvre les lèvres latéralement, limitant donc les mouvements des lèvres et de la mâchoire. Bien qu'il ait été initialement prévu pour l'orthodontie, cet appareil est actuellement porté par les participants du « défi de l'écarteur de bouche ». Il s'agit d'un véritable phénomène internet sur lequel la marque Hasbro a récemment créé un jeu de société appelé « Mâche Mots ». On y tente de faire deviner aux autres joueurs des mots et expressions produits en portant ce dispositif¹.

A notre connaissance, aucune étude n'a été menée sur l'effet de cet appareil sur la production de la parole. Nous cherchons à évaluer le potentiel de cet appareil pour les études futures sur la perturbation. Nous présenterons une analyse articuloire et acoustique préliminaire de l'effet de l'écarteur de lèvres sur les monophthongues de l'anglais britannique chez quatre locuteurs. Pour recueillir les données articuloires, nous avons utilisé l'échographie de la langue et un accéléromètre pour analyser les mouvements de la mâchoire. Nous examinerons enfin si les locuteurs ont réussi à opérer une compensation pour la perturbation de la voyelle /u/, qui nécessite habituellement le recours à un certain degré de labialisation.

2 Effet de la perturbation

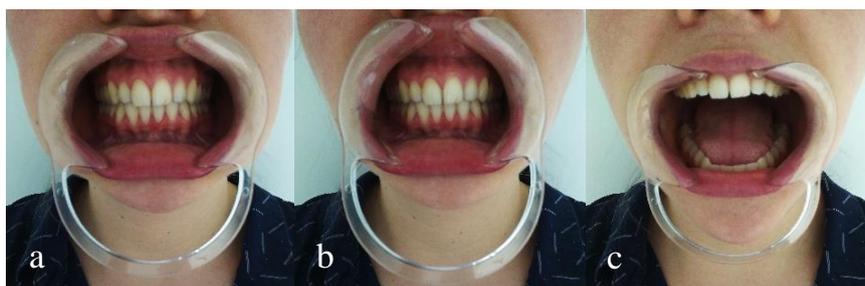


FIGURE 1 : L'écarteur de lèvres : a) position neutre b) arrondissement c) bouche ouverte

Dans la FIGURE 1, l'image a) présente la bouche dans une position neutre (bouche fermée, sans arrondissement des lèvres). On remarque que l'appareil ajoute des canaux latéraux : un espace important entre l'intérieur des joues et les dents. L'écarteur a une certaine souplesse et la taille de ces canaux latéraux semble diminuer lorsqu'on essaie d'arrondir les lèvres (image b de la FIGURE 1).

¹ Pour un exemple du jeu : <https://youtu.be/pN866ZoYqS4>

Cette différence peut s'expliquer par le fait que l'intérieur des commissures des lèvres restent normalement en contact avec la surface des dents pendant un arrondissement des lèvres (Li et al., 2015). Ce qu'on observe en b) serait donc un mouvement de rapprochement des commissures. Comme le montre la FIGURE 1, cet appareil rend un arrondissement, un étirement et une constriction des lèvres impossibles. En revanche, l'appareil n'entrave pas l'ouverture de la bouche. L'image c) montre son ouverture maximale lors du port de l'appareil.

Des études précédentes ont simulé l'effet de la perturbation sur la parole à partir de modélisations acoustiques du conduit vocal (Savariaux et al., 1995). Ces modélisations ont également été employées pour prédire les stratégies de compensation. Dans cette approche, l'obtention de données géométriques réelles du conduit vocal est essentielle (Ghio A., 2007). Ne disposant pas de telles données, nous ne pouvons pas adopter une telle approche pour modéliser l'effet de l'écarteur. Vu l'ajout des canaux latéraux qui élargissent le conduit vocal, nous ne pouvons pas simplement retirer les lèvres des modélisations acoustiques existantes, comme celles de Fant (1960) et Stevens (1989). Par conséquent, nos prédictions concernant l'impact de l'écarteur sur les monophthongues de l'anglais ne peuvent être que générales. Premièrement, vu que l'appareil empêche l'arrondissement des lèvres, les voyelles arrondies ne devraient pas comporter d'arrondissement. Ensuite, bien que l'appareil étire les lèvres, il semble ne pas permettre la production de voyelles très écartées, comme [i]. De plus, l'ajout des canaux latéraux pourrait entraîner de la friction. Enfin, même si l'appareil présente une certaine souplesse, nous prévoyons également une perturbation de la cinématique mandibulaire, que nous allons quantifier au moyen d'un accéléromètre.

Afin de juger si les locuteurs arrivent à opérer une compensation de la perturbation, nous nous concentrons sur la voyelle /u/. Cette voyelle est en effet une variable sociolinguistique importante dans plusieurs accents anglais. Elle a suscité de nombreuses études car elle est souvent antériorisée par rapport à sa catégorisation phonologique (/u/, donc conventionnellement fermée et postérieure) et par rapport à sa réalisation phonétique historique (Scobbie et al., 2012). Les études qui traitent de l'antériorisation de /u/ (également connue sous le terme « GOOSE fronting ») s'appuient généralement sur les données acoustiques, acceptant donc le parallèle entre trapèze vocalique articulatoire et plan F1/F2. Cependant on sait que les caractéristiques acoustiques des résonances des voyelles sont affectées par la configuration d'autres articulateurs et pas seulement par le lieu d'articulation de la langue. En effet, une étude récente de Lawson et al. (2017) n'a pas trouvé de corrélation entre l'antériorité acoustique et l'antériorité articulatoire de /u/ dans plusieurs variétés d'anglais britannique. Les auteurs ont conclu que leur étude illustre l'insuffisance d'une approche purement acoustique dans la recherche sur la variation vocalique diatopique.

Harrington et al. (2011) ont remarqué que les caractéristiques acoustiques d'un /u/ antériorisé pouvaient être la conséquence d'une position antérieure de la langue ou d'un manque d'arrondissement des lèvres. A partir des données d'articulographie électromagnétique, Harrington et al. (2011) ont démontré qu'en anglais standard du sud de l'Angleterre, ce qui distingue la voyelle /u/ de la voyelle /i/ n'est plus la position de la langue mais plutôt l'arrondissement des lèvres. Par conséquent, nous nous intéressons à cette voyelle parce que nous anticipons qu'elle sera particulièrement affectée par l'écarteur. Si c'est bien le cas, une compensation possible pourrait impliquer une postériorisation de la langue pour allonger la cavité antérieure. Les données échographiques de la langue vont nous permettre de juger dans un premier temps si la voyelle /u/ a un lieu d'articulation antérieur dans la production non perturbée. Nous pourrions ensuite comparer la position de la langue pour /u/ dans la parole normale avec celle produite pendant la parole perturbée. Nous comparerons enfin les données articulatoires de /u/ avec les données acoustiques.

3 Méthodologie

3.1 Participants et stimuli

Nous avons initialement enregistré cinq Britanniques à Paris, mais en raison de problèmes de visualisation des données échographiques chez une locutrice, nous présenterons les données de quatre locuteurs, dont un homme et trois femmes de 26, 50, 26, et 26 ans respectivement. Trois participants vivaient à Paris et parlaient le français (niveau B2/C1). Cependant, tous les locuteurs avaient vécu en Angleterre en milieu monolingue jusqu'à l'âge de 20 ans au moins et parlaient quotidiennement l'anglais. Une locutrice produisait un anglais standard du sud de l'Angleterre tandis que les autres venaient du nord d'Angleterre (Yorkshire et Lancashire).

Nous avons choisi des paires minimales de type /hVd/ où V représente une des onze monophthongues de l'anglais standard du sud de l'Angleterre (/i:, ɪ, ε, æ, ɜ:, u:, ʊ, ʌ, ɔ:, ɑ:, ɒ/). Trois répétitions de chaque mot ont été produites en isolation avec et sans l'écarteur de lèvres. Les stimuli ont été présentés dans un ordre aléatoire par sujet et par condition avec les mots distracteurs. Afin de tester la dynamique de la mâchoire, à la fin de chaque condition, les participants ont produit la phrase « *hit the nail on the head* » trois fois ainsi que cinq répétitions de la syllabe /ba/ à un rythme régulier.

3.2 Matériels et procédure

Les participants portaient un écarteur de lèvres d'une largeur de 130 mm et d'une hauteur de 90 mm. Le signal acoustique a été capté par le biais d'un microphone à condensateur cardioïde (AKG Perception 120) relié à une carte-son externe (Presonus Audiobox), et a été numérisé directement au format PCM Windows, mono, avec une fréquence d'échantillonnage de 22 050 Hz et une quantification de 16 bits. Les données articulatoires ont été enregistrées avec un système échographique (Echo Blaster 120) avec une fréquence de ~60 images par seconde relié à une sonde de 5-8 MHz dans le plan sagittal médian. Le signal acoustique et articulatoire ont été enregistrés et synchronisés avec Articulate Assistant Advanced (AAA) (Articulate Instruments, 2014). Les participants portaient un casque ajustable de stabilisation de la sonde échographique afin d'éviter les mouvements de la tête par rapport à la sonde (Articulate Instruments, 2008).

Les données accélérométriques ont été enregistrées avec la plateforme BITalino (Guerreiro et al., 2013). Les données ont été acquises avec le logiciel Open Signals avec une fréquence d'échantillonnage de 1 000 Hz et une quantification de 10 bits. Le capteur était collé au menton des participants et mesurait simultanément l'accélération sur les axes X, Y et Z. Afin de synchroniser les données accélérométriques avec le signal acoustique, un bouton relié au BITalino permettait de déclencher et d'interrompre l'enregistrement dans AAA et d'inscrire l'événement sur une entrée numérique du BITalino pour permettre la postsynchronisation des données.

Nous avons effectué les enregistrements dans deux conditions : pendant la parole perturbée (P) et sans perturbation, donc pendant la parole normale (N). Deux participants ont commencé par la condition P et ont terminé par la condition N. On a inversé ces conditions pour les deux autres participants. Les participants étaient confortablement assis dans une chambre sourde. On leur a présenté les stimuli sur un écran externe. Ils ont été informés qu'il faudrait dire chaque mot/phrased qui apparaît sur l'écran de la manière la plus naturelle possible après avoir entendu un bip. Chaque passation a duré moins de 30 minutes au total.

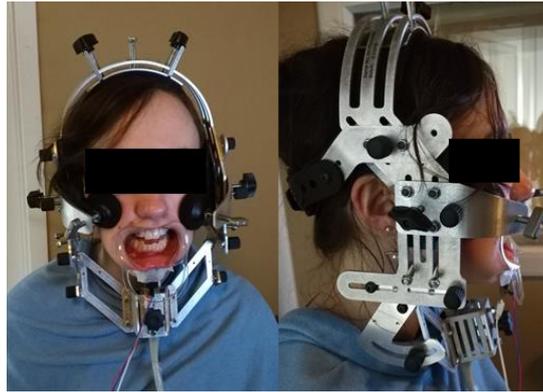


FIGURE 2 : Dispositif expérimental avec l'écarteur de lèvres, l'accéléromètre, et un casque de stabilisation relié à la sonde échographique

3.3 Analyse des données

3.3.1 Accéléromètre

Les données continues brutes de l'axe vertical de l'accéléromètre ont été converties en g , synchronisées avec le début de chaque stimulus audio, et segmentées. L'offset des segments résultants a été éliminé et le signal a été rectifié. Nous avons ensuite calculé l'amplitude moyenne de chaque essai comme un indicateur de l'accélération.

3.3.2 Acoustique

Le signal acoustique a été segmenté et étiqueté avec Praat (Boersma & Weenink, 2017). Les valeurs formantiques ont été extraites au milieu de la voyelle avec l'algorithme Burg dans Praat. Nous avons ajusté empiriquement les paramètres de l'algorithme pour obtenir une estimation satisfaisante des valeurs formantiques superposées au spectrogramme². Pour définir si la voyelle /u/ était antériorisée, nous avons comparé sa valeur de F2 avec celle des voyelles périphériques /i/ et /o/. Si le F2 était plus proche de celui de /i/, nous avons conclu que /u/ était effectivement antériorisé.

3.3.3 Echographie de la langue

Nous avons, dans un premier temps, visualisé d'une manière globale les contours de la langue pendant la production de chaque voyelle. Une image échographique a été sélectionnée pour chaque voyelle pour chaque locuteur avec et sans perturbation. Il s'agit de l'image la plus nette qui montre le contour de la langue dans sa position maximale avant le début du geste coronal de la consonne suivante (/d/). Nous avons utilisé AAA afin de détecter d'une façon quasi-automatique le contour de la langue de chaque image. Les erreurs de détection ont été corrigées à la main. Les contours ont été convertis sous forme de coordonnées dans un espace à deux dimensions (en millimètres).

Les images échographiques n'incluent que la surface de la langue et non pas des structures immobiles du conduit vocal, ce qui rend la tâche de quantification difficile car on n'a pas de point de

² Les scripts sont disponibles à <https://tinyurl.com/hwv6a96>

référence. Si la position de la sonde reste constante (à l'aide d'un casque de stabilisation par exemple), il est possible de quantifier les différentes positions de la langue. Nous avons opté pour la méthode de Scobbie et al. (2012), qui définit l'espace vocalique en fonction des coordonnées de deux voyelles périphériques, notamment /i/ et /o/. Pour caractériser la position relative de /u/, on dessine une tangente commune qui relie ces deux voyelles. Cette ligne de référence est ensuite traitée comme l'orientation horizontale de chaque locuteur pour déterminer le degré d'antériorisation de /u/. Si le /u/ est plus proche du /i/ que du /o/, nous concluons que le locuteur présente une antériorisation linguale de /u/, comme le cas présenté à la FIGURE 3.

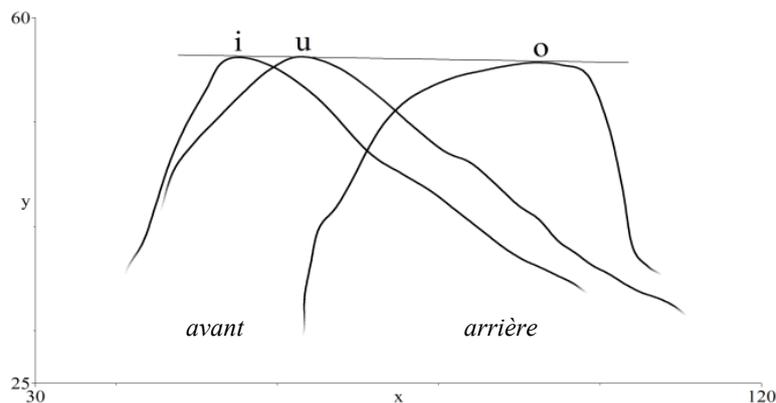


FIGURE 3 : L'utilisation d'une tangente commune pour définir la localisation des voyelles.

4 Résultats et interprétation

4.1 Accéléromètre : perturbation de la dynamique de la mâchoire

Nous avons calculé l'accélération moyenne comme mesure exploratoire de la perturbation de la dynamique de la mâchoire engendrée par l'écarteur. En moyenne, l'accélération était à 0,0741g dans la condition N et à 0,0433g dans la condition P avec un ratio P/N à 0,5792. Ce ratio indique que l'accélération baisse d'environ 40% lorsque la production est perturbée. Nous avons comparé les valeurs pour les deux stimuli : « ba ba ba ba ba » et « hit the nail on the head ». Les valeurs pour le premier étaient presque deux fois plus élevées que celles enregistrées pour le deuxième car la production de l'occlusive bilabiale nécessite un mouvement mandibulaire plus ample que celui occasionné par la plupart des consonnes du second. Comme plus haut, ces données sont influencées par la perturbation. Un développement logique de cette analyse très préliminaire consistera à examiner plus finement l'accélération induite par chaque son séparément.

4.2 Analyse acoustique

FIGURE 4 présente les modifications moyennes de l'espace vocalique après la perturbation pour chaque locuteur. L'espace vocalique de la locutrice 4 du sud est unique : c'est le seul qui présente une distinction entre les deux voyelles /o/ et /ʌ/. On remarque également que sa production non-perturbée de /u/ est beaucoup plus antérieure que celle des autres locuteurs, avec une différence moyenne d'environ 962 Hz sur F2. Par conséquent, à partir des données acoustiques, on pourrait conclure que la locutrice du sud est la seule à présenter une antériorisation de /u/ dans la parole non-

perturbée. On y observe également une antériorisation de la voyelle /u/, ce qu'on n'observe pas chez les participants du nord.

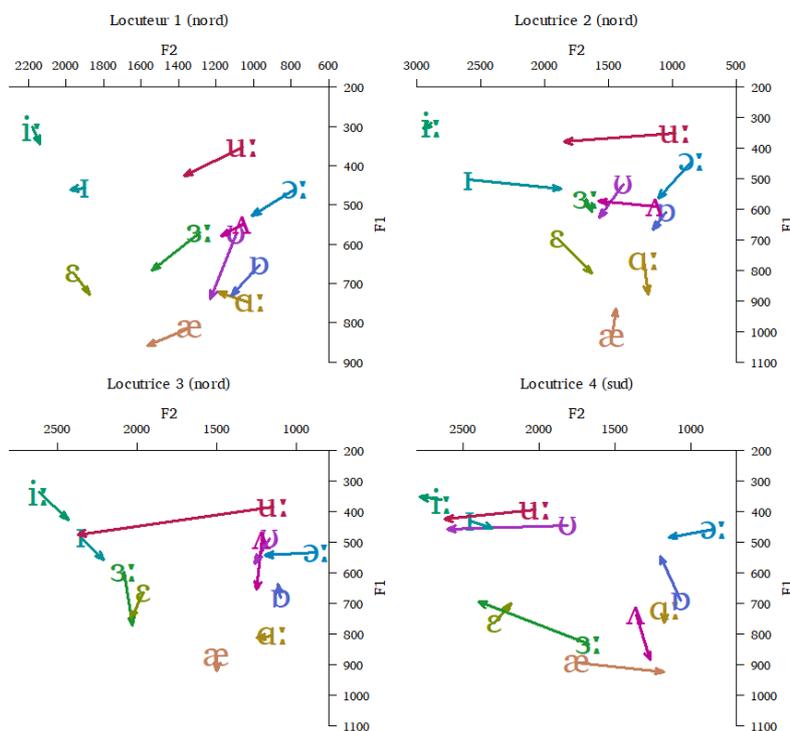


FIGURE 4 : Les modifications de l'espace vocalique après la perturbation

Nous avons observé beaucoup de variation parmi les locuteurs suite à la perturbation, qui découle probablement de l'effet de l'écarteur de lèvres sur des conduits vocaux de tailles différentes. Afin d'examiner quelles voyelles étaient particulièrement influencées par la perturbation, nous avons calculé la distance euclidienne dans F1-F2 en Bark entre les conditions N et P pour chaque voyelle. Chez les trois locuteurs du nord, la voyelle la plus affectée par la perturbation est /u/. L'effet est moins saillant pour cette voyelle chez la locutrice du sud. Ceci indique potentiellement une utilisation importante des lèvres pour la production habituelle de /u/ chez ces trois locuteurs, contrairement à la locutrice du sud, chez qui l'effet de perturbation est moins saillant pour /u/. Il semble donc que l'utilisation de la perturbation labiale puisse nous fournir les informations relatives à la variation sociophonétique : les locuteurs du nord étant plus affectés par la perturbation utilisent habituellement donc plus de labialisation que la locutrice du sud. On n'aurait pas pu arriver à cette conclusion en s'appuyant simplement sur les données acoustiques de la parole non-perturbée.

Dans les descriptions traditionnelles des voyelles d'anglais, il n'existe pas de voyelles qui se distinguent uniquement par l'arrondissement des lèvres, contrairement à d'autres systèmes vocaliques comme le français et l'allemand. Il est donc possible que l'arrondissement des lèvres ne soit pas très saillant en anglais. Dans une étude comparative des systèmes vocaliques de l'anglais, de l'espagnol, du français et de l'allemand, Delattre (1969) a remarqué que l'arrondissement employé dans les voyelles arrondies anglaises est moins important que celui produit des voyelles équivalentes dans les autres langues étudiées. Cependant, nos données indiquent que lorsqu'on empêche l'arrondissement avec une perturbation labiale, la voyelle /u/ peut occuper le même espace vocalique acoustique F1/F2 que /i/ (chez locutrices 3 et 4). Il semble donc que l'arrondissement soit plus pertinent pour la distinction /i-u/ que la littérature ne le suggère. Ceci est peut-être dû à l'antériorisation de /u/ : ce qui distingue /u/ de /i/ n'est pas nécessairement la position de la langue mais plutôt l'arrondissement des lèvres, comme Harrington et al. l'avaient indiqué (2011).

4.3 Echographie de la langue

La tangente commune qui relie les voyelles /i/ et /o/ nous a permis de juger si la voyelle /u/ était produite avec une antériorisation de la langue. Si la position maximale de la langue pendant la voyelle est plus proche de celle de /i/ que celle de /o/, on juge la voyelle /u/ comme étant antériorisée. Chez les locutrices 2-4, la voyelle /u/ est antériorisée dans leur parole normale. Chez les locuteurs 1, 3 et 4, la position maximale de la langue devient plus proche du /o/ pendant la parole perturbée, donc plus *postérieure* pour /u/. Nous concluons qu'il s'agit d'une stratégie de compensation articulatoire suite à la perturbation labiale. Cependant, nos données acoustiques montrent qu'avec le degré de postériorisation observé, les locuteurs n'arrivent pas à obtenir la même cible acoustique que celle d'un /u/ non-perturbé. Une modélisation acoustique pourrait nous aider à juger si une compensation totale est en effet possible avec ce genre de perturbation labiale.

4.4 Corrélats acoustiques-articulatoires

Selon nos données acoustiques, seule la locutrice du sud (4) présente une antériorisation de /u/ dans sa parole normale. Cependant, les données articulatoires montrent que la langue est plus proche de la voyelle antérieure /i/ que de la voyelle postérieure /o/ chez les deux autres locutrices (2, 3), alors que leurs valeurs de F2 indiquent le contraire. Il semble que cette absence de corrélation entre les données acoustiques et articulatoires soit due à l'influence des lèvres sur les valeurs formantiques. Les locutrices 2-4 utilisent toutes les trois un lieu d'articulation antérieur pour /u/ mais seule la locutrice 4 présente des valeurs de F2 élevées, ce qui indique que les locutrices 2 et 4 utilisent potentiellement plus de labialisation (ce que les valeurs centrées réduites de F1 et F2 ont également indiqué). Les données acoustiques de la parole non-perturbée ne nous fourniraient pas ces informations, ce qui corrobore donc la conclusion de Lawson et al. (2017) selon laquelle une approche purement acoustique n'est pas nécessairement suffisante.

Les valeurs de F2 nous montrent que la production de /u/ devient plus antérieure dans la parole perturbée chez tous les locuteurs. Mais en regardant les données échographiques, trois locuteurs sur quatre (1, 2, 4) ont utilisé un lieu d'articulation plus *postérieur* dans cette condition. Cette postériorisation induite par la perturbation met donc en évidence une compensation articulatoire. Cette compensation linguale n'est pas observable à partir des données acoustiques, ce qui renforce à nouveau l'importance des données articulatoires dans les études sur la compensation.

5 Conclusion

Malgré la variation occasionnée par la perturbation, l'utilisation de l'écarteur de lèvres nous semble appropriée pour les études en phonétique, surtout pour éliminer entièrement l'influence des lèvres et pour restreindre les mouvements de la mâchoire. Notre étude a montré les signes d'une compensation articulatoire suite à la perturbation avec cet appareil. Nous sommes conscients que cette méthode présente certains inconvénients. L'appareil n'est pas modulable, ce qui serait pourtant nécessaire pour s'adapter à des conduits vocaux de tailles différentes. L'inconfort est évidemment un inconvénient et nous conseillons donc de l'utiliser sur des périodes brèves. Les futures études pourraient porter sur son effet sur d'autres systèmes vocaliques ou sur les consonnes labiales ([p], [b], [w], [ɪ], etc.). Une modélisation acoustique sera également bénéfique. Le résultat majeur et inattendu de cette étude porte sur la décorrélation entre les données acoustiques et articulatoires. Notre soulignons donc l'importance de données articulatoires dans les études sur l'effet de la perturbation articulatoire et plus généralement sur la production des voyelles.

Références

- ARTICULATE INSTRUMENTS (2008). Ultrasound stabilisation headset users manual, revision 1.4. Edinburgh: Articulate Instruments Ltd.
- ARTICULATE INSTRUMENTS (2014). Articulate Assistant Advanced ultrasound module user manual, revision 2.16. Edinburgh: Articulate Instruments Ltd.
- BOERSMA P., WEENINK D. (2017). Praat: doing phonetics by computer. Version 6.0.26.
- DELATTRE P. (1969). An acoustic and articulatory study of vowel reduction in four languages. *International Review of Applied Linguistics in Language Teaching*, 7(4), 295-326.
- FANT G. (1960). *Acoustic theory of speech production*. The Hague: Mouton.
- GHIO A. (2007). Modélisation du conduit vocal. Dans P. AUZOU, V. ROLLAND, S. PINTO et C. OZSANCAK (dir.), *Les Dysarthries* (140-156). Marseille : Solal.
- GUERREIRO J., MARTINS R., SILVA H., FRED A.L. (2013). BITalino-A Multimodal Platform for Physiological Computing. *ICINCO* 1, 500-506.
- HARRINGTON J., KLEBER F., REUBOLD U. (2011). The contributions of the lips and the tongue to the diachronic fronting of high back vowels in Standard Southern British English. *The Journal of the International Phonetic Association* 41, 137-156.
- LAWSON E., STUART-SMITH J., MILLS L. (2017). Using ultrasound to investigate articulatory variation in the GOOSE vowel in the British Isles. Actes de *Ultrafest VIII*, 27-28.
- LI T., HONDA K., WEI J., DANG J. (2015). A lip protrusion mechanism examined by magnetic resonance imaging and finite element modeling. Actes de *18th ICPHS*, Glasgow.
- PERRIER P. (2005). Control and representations in speech production. *ZAS Papers in Linguistics* 40, 109-132.
- RIORDAN C.J. (1977). Control of vocal-tract length in speech. *The Journal of the Acoustical Society of America* 62(4), 998-1002.
- SAVARIAUX C., PERRIER P., ORLIAGUET J.P. (1995). Compensation strategies for the perturbation of the rounded vowel [u] using a lip tube: A study of the control space in speech production. *The Journal of the Acoustical Society of America* 98(5), 2428-2442.
- SAVARIAUX C., PERRIER P., ORLIAGUET J.P., SCHWARTZ J.L. (1999). Compensation strategies for the perturbation of French [u] using a lip tube. II. Perceptual analysis. *The Journal of the Acoustical Society of America* 106, 381-393.
- SCOBIE J.M., LAWSON E., STUART-SMITH J. (2012). Back to front: a socially-stratified ultrasound tongue imaging study of Scottish English /u/. *Rivista di Linguistica* 24(1), 103-148.
- STEVENS K.N. (1989). On the quantal nature of speech. *Journal of phonetics* 17(1), 3-45.