L'équation du locus comme indice de coarticulation dans l'articulation des occlusives sourdes chez les enfants atteints de fente palatine

M. Béchet, F. Hirsch, V. Ferbach-Hecker, B. Vaxelaire et R. Sock

Institut de Phonétique de Strasbourg – IPS & Composante Parole et Cognition de l'E.A. 1339 - LiLpa
Université Marc Bloch – Strasbourg 2
marionbechet@yahoo.fr

ABSTRACT

The aim of the present work is to verify coarticulatory strategies in children with a cleft palate, in comparison with those used by unimpaired children, as control subjects. Locus equations were measured in order to quantify the degree of coarticulation for 4 children: 2 pathological children and 2 non pathological ones.
Results show that regression slope values are lower for children with a cleft palate. This finding suggests that degree of coarticulation is less pronounced in children with a cleft palate, even though they may use the same strategies as non pathological children. Furthermore, it is shown that variability (measured using R^2) is higher than in all productions of the children, even though it is higher in pathological subjects.

Keywords: Locus equation, cleft palate, children, coarticulation

1. INTRODUCTION

L'équation du locus représente des droites de régressions linéaires dérivées de la relation entre le milieu de la partie stable de F2 (F2-milieu) et le début de la deuxième zone de résonance (F2-début), qui correspond à la transition formantique après le relâchement de la consonne.
Cette mesure a été proposée pour la première fois par Lindblom [1] dans une étude spectrographique sur la réduction vocalique. Krull ([2] et [3]) a ensuite suggéré que les valeurs de la pente dérivées de l'équation du locus pourraient être utilisées pour inférer le degré de coarticulation entre une consonne et la voyelle suivante ; une pente égale à 0 évoquerait une coarticulation nulle, soit un degré élevé de *résistance coarticulatoire*, et une pente égale à 1 une coarticulation maximale, soit un degré élevé d'*adaptation coarticulatoire* (voir aussi [6] pour une analyse similaire).
Il est utile de préciser que d'autres études, telles que Sussman [4], retiennent davantage cette méthode pour obtenir le locus de la consonne que pour mesurer le degré de coarticulation. Signalons, toutefois, que les résultats sur les équations du locus, en tant que mesure du degré de coarticulation CV, ne sont pas toujours concluants (voir, par ex., [5]).

Les fentes labio-maxillaires et vélo-palatines sont des accidents morphologiques survenant lors du deuxième mois embryonnaire. Elles sont la conséquence d'un défaut de fusion partielle ou totale des bourgeons constitutifs du massif facial supérieur ([8]). Les fentes palatines peuvent être associées, ou non, à une fente labiale. Le bourrelet adénoïdien permet parfois de compenser la fuite vélaire.

Le français compte 3 occlusives sourdes [p, t, k]. Pour la réalisation de ces trois sons, l'air est momentanément bloqué dans la cavité buccale avant d'être relâché brusquement. Par conséquent, ces sons sont difficiles à produire pour des locuteurs ayant une fente palatine de par leur pathologie même. En effet, comme on a pu l'observer dans certaines études (par ex. [9]), l'explosion de l'occlusive n'est pas nette, et la constrictive correspondant à l'occlusive voulue au niveau articulatoire est souvent réalisée à la suite de cette occlusive, provoquant une durée plus importante du VOT. Cela peut être dû à une stratégie articulatoire des locuteurs qui, ne parvenant pas à réaliser ce son, ont trouvé un *réajustement* possible face à la *perturbation* anatomique de la configuration du conduit vocal, en réalisant la constrictive la plus proche au niveau articulatoire de l'occlusive désirée.

À cause de la fente palatine, il est difficile de développer une pression orale suffisante comme il est nécessaire à la production des consonnes telles que les occlusives. Ainsi, comme l'ont démontré Powers [10], Lawrence et Phillips [11] ou encore Trost [12], de nombreuses manœuvres compensatoires sont employées par les locuteurs pour remédier à leurs problèmes, bloquant l'air déjà au niveau glottal, ou même au niveau pharyngal. Une autre caractéristique de la production orale des enfants ayant une fente palatine est la longueur temporelle des séquences émises, qui est supérieure à celle des productions d'enfants témoins. Une étude menée par Ha *et al*. [13] en témoigne.

Lindblom [14] souligne la grande plasticité du geste articulatoire qui est fortement malléable et adaptable. Il signale la capacité des locuteurs à réorganiser une parole qui est, pour une raison ou une autre, *perturbée*. Ils s'adaptent ainsi, acquérant une compensation articulatoire nécessaire à la production du son voulu. C'est cette hypothèse d'adaptabilité des locuteurs, à partir de l'analyse

d'équations du locus, que nous allons tenter de vérifier ici, avec des locuteurs contraints de réajuster leurs comportements articulatoires, face à une pathologie du conduit vocal.
Notre hypothèse de départ est la suivante : les enfants porteurs de fente palatine présenteront un taux de coarticulation gestuelle inférieure (pente de l'équation du locus proche de 0) à celui des enfants témoins (pente de l'équation du locus proche de 1).

2. MÉTHODE

Pour cette étude, nous avons exploité les enregistrements de productions de 4 enfants de langue française, âgés de 10 ans ; 2 filles et 2 garçons, comparant chaque fois 1 sujet témoin à 1 sujet pathologique. Cela nous donne donc 2 sujets pathologiques et 2 sujets de contrôle. Pour les sujets pathologiques, nous avons Safia, qui a une fente palatine postérieure, et Eliott, qui a une fente palatine totale. Les deux sujets de contrôle sont Clara et Pierre. Les deux sujets pathologiques ont tous deux bénéficié d'une reconstruction chirurgicale. Etant donné le faible nombre de sujets (ce qui est souvent le cas dans le domaine de la phonétique clinique), nous avons exigé, auprès de chaque enfant, suffisamment de répétitions des items afin de pouvoir procéder à des analyses statistiques convenables (cf. *infra*).

Le corpus était composé de mots, insérés dans des énoncés et comportant une séquence V1CV2, où V1 est [a] et V2 est [i] ou V1 est [i], et V2 est [a], C étant l'une des consonnes [p], [t] ou [k]. Pour chaque séquence, nous avons obtenu 10 répétitions environ de chaque locuteur.

L'enregistrement a été effectué dans une salle de l'Hôpital de Hautepierre à Strasbourg, avec un appareil enregistreur numérique (Fostex FR2® sur catre Flash II) et un micro directif (Sennheiser e845 S®) pour les sujets pathologiques. Les sujets sains ont été enregistrés dans une salle calme, au sein d'un collège, avec le même matériel.

En ce qui concerne les mesures, nous avons dans un premier temps segmenté le signal à l'aide du logiciel Praat®, puis nous avons relevé les valeurs de F2 au début de la voyelle (après le relâchement de la consonne et avant l'établissement d'une structure formantique vocalique clairement définie), et F2 au milieu de la voyelle (à un endroit formantique stable de la voyelle). Les valeurs formantiques ont été mesurées (en hertz) de façon automatique, puis vérifiées manuellement.

Nous avons ensuite établi des graphiques, coordonnant les valeurs de F2-début en ordonnée, et F2-milieu en abscisse. L'équation du locus correspond alors à l'équation de la droite de régression passant au plus près de tous les points du graphique. Nous calculons également R^2, qui correspond au coefficient de détermination, soit la variabilité ou le degré de fiabilité de l'équation, c'est à dire si les points sont proches, ou non, de la droite de régression.

3. RÉSULTATS

Nous avons comparé les productions des deux filles, la locutrice de contrôle (Clara) et la locutrice pathologique (Safia), puis nous avons confronté les résultats de cette comparaison aux productions des deux garçons, le locuteur de contrôle (Pierre) et le locuteur pathologique (Eliott).
Notons tout d'abord que pour l'occlusive bilabiale sourde [p], les tendances sont les mêmes chez les quatre locuteurs. En effet, chez les locuteurs de contrôle comme chez les locuteurs pathologiques, la valeur des pentes de la droite de régression (proche de 1) montre une très grande coarticulation des gestes. Les bons résultats des coefficients de détermination confirment ces résultats. Nous n'analyserons pas cette consonne plus en détail car nous n'avions pas suffisamment de répétitions pour un de nos locuteurs. Cependant, il est important de signaler ce résultat, qui peut signifier que lorsque la langue n'est pas mise à contribution dans l'articulation d'un son, le phénomène coarticulatoire se fait plus facilement, puisque la masse linguale peut se mettre en place de manière anticipatoire pour l'articulation de la voyelle suivante, pendant la réalisation même de la bilabiale précedente.

3.1. Locutrice Clara (de contrôle) vs. *Safia (pathologique)*

En contexte [t] : pour cette consonne, les valeurs de la pente de la droite de régression pour la locutrice de contrôle, Clara, sont toujours plus élevées que chez la locutrice pathologique, Safia. En effet, pour [ati], la coarticulation est assez bonne chez Clara, tandis qu'elle est nulle (voire négative) chez Safia. On pourra donc parler, chez cette dernière, d'une résistance à la coarticulation, tandis qu'il semble y avoir adaptation coarticulatoire chez la locutrice de contrôle. Dans le contexte [ita], les valeurs de la pente sont assez faibles, et comparables chez les deux locutrices. La consonne montre donc une certaine résistance à la coarticulation.
Notons la grande différence des valeurs des coefficients de détermination entre les deux locutrices ; il y a plus de variabilité chez la locutrice pathologique pour [ati] et pour [ita].
En contexte [k] : en ce qui concerne la consonne vélaire, on constate qu'en contexte [aki] les deux locutrices ont des valeurs de pente comparables, montrant chacune une forte résistance à la coarticulation. Il en va de même du contexte [ika], où les deux locutrices ont des valeurs de pente très proches de 0. Notons cependant que la locutrice pathologique présente à nouveau des valeurs légèrement plus basses que la locutrice de contrôle au niveau du coefficient de détermination, révélant ainsi une plus grande dispersion des valeurs. Dans tous les cas, les valeurs des coefficients sont faibles, révélant une grande variabilité dans ce contexte

vélaire, ce qui corrobore les résultats souvent attestés dans la littérature (*cf.*, par ex., [6].)

	locuteurs	clara	safia	Pierre	eliott
pente	Ati	0,43	-0,03	0,2566	0,1218
R2		0,6668	0,0042	0,3588	0,0401
pente	Ita	0,18	0,17	0,3249	0,0161
R2		0,3859	0,0953	0,065	0,031
pente	Aki	0,2045	0,187	0,4334	0,46
R2		0,3801	0,1363	0,1688	0,1688
pente	Ika	-0,1162	0,0249	1,14	0,45
R2		0,0139	0,002	0,4179	0,223

Table 1 : Valeurs des pentes et coefficients de détermination pour chaque locuteur et pour chaque contexte.

3.2. Locuteur Pierre (de contrôle) vs. *Eliott (pathologique)*

En contexte [t] : en contexte [ati], les valeurs des pentes des droites de régression sont faibles pour les deux locuteurs, surtout chez Eliott, locuteur pathologique. On peut dire cependant que chez Pierre, on constate une adaptation relative de la consonne au contexte vocalique. En contexte [ita], la différence entre les deux locuteurs est un peu plus marquée, le locuteur pathologique, présentant une valeur de pente quasiment nulle et le locuteur de contrôle, une pente moyenne de 0,3249. Notons cependant que les coefficients de détermination sont très faibles chez les deux locuteurs, ce qui indique une variabilité importante des valeurs dans ce contexte.

Cette consonne révèle ici une résistance assez élevée à la coarticulation chez le locuteur pathologique, à cause d'une faible valeur de la pente, alors qu'on observe, à l'inverse, une certaine adaptation chez le locuteur de contrôle, avec une valeur de pente moyenne.

En contexte [k] : en contexte [aki], la consonne montre une bonne adaptation chez les deux locuteurs. Notons toutefois que les coefficients de détermination sont, à nouveau, assez bas chez les deux locuteurs. En contexte [ika], Pierre montre une très forte coarticulation, et Eliott une coarticulation moyenne. Les coefficients de détermination sont ici meilleurs pour les deux locuteurs, même s'ils sont plus faibles chez le locuteur pathologique.

Cette consonne affiche une plus grande adaptation à la coarticulation, malgré une certaine variabilité dans les valeurs.

En résumé, nous avons pu constater que la consonne [t] est plus résistante à la coarticulation (avec des droites de régression moins pentues) que la consonne vélaire ou bilabiale, chez les locuteurs garçons, suivant les résultats donnés dans la littérature. Cependant, nos données ne confirment pas ce résultat chez nos deux locutrices.

En revanche, si l'on compare les locuteurs pathologiques aux locuteurs non pathologiques (cf. figures 1 et 2), on constate que pour la consonne vélaire la coarticulation est plus élevée que pour la coronale, notamment chez les locuteurs de contrôle.

L'occlusive [k] montre, elle, des allures de pentes plus variables, dans la mesure où, pour un même locuteur ou un même contexte, cette occlusive s'adapte plus ou moins bien à la voyelle suivante. La transition CV se fait, en revanche, avec un taux de coarticulation plus élevé que dans le contexte [t], surtout chez les deux garçons.

Les locuteurs pathologiques présentent une dispersion des valeurs beaucoup plus élevée que les locuteurs de contrôle, par rapport à la droite de régression, rendant des coefficients de détermination très faibles dans l'ensemble. Cette analyse révèle également une plus grande résistance à la coarticulation chez les locuteurs pathologiques, même s'ils adoptent une stratégie coarticulatoire proche des locuteurs témoins.

La grande variabilité des valeurs, de manière générale, peut être due au fait que les locuteurs soient ici des enfants.

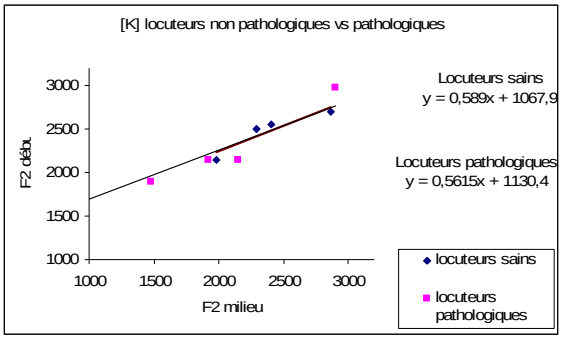

Figure 1 : Valeurs moyennes de F2-milieu par rapport à F2-début, donnant les pentes de l'équation du locus et le coefficient de détermination pour les locuteurs de contrôle par rapport aux locuteurs pathologiques ; consonne [k].

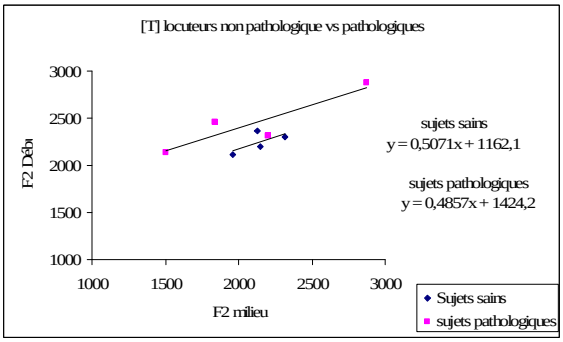

Figure 2 : Valeurs moyennes de F2-milieu par rapport à F2-début, donnant l'équation du locus et le coefficient de détermination pour les locuteurs de contrôle par rapport aux locuteurs pathologiques ; consonne [t].

CONCLUSIONS

L'étude des équations du locus a permis de distinguer deux types de comportements : en effet, les résultats pour les locuteurs de contrôle sont comparables l'un à l'autre et s'opposent aux valeurs obtenues pour les deux sujets pathologiques. Nous avons ainsi pu voir que la coarticulation était

généralement plus forte chez les locuteurs non-pathologiques.
Pour la consonne bilabiale, la coarticulation est très élevée chez les quatre locuteurs, sans doute dans la mesure où la langue, qui n'est pas sollicitée pour l'articulation de la consonne, peut déjà se diriger, de manière anticipatoire, vers le lieu d'articulation désirée pour la réalisation de la voyelle.
Pour le [k], nous observons des valeurs des droites de régression plus élevées pour les locuteurs pathologiques, dans certains cas. On pourrait ainsi penser que la résistance coarticulatoire serait plus faible du fait que cette consonne est articulée dans la zone pathologique. Cependant, nous ne trouvons pas de comportement systématique pour cette consonne, étant donné la grande variabilité dans les données.
Pour le [t], en revanche, on peut noter que les résultats diffèrent chez les deux groupes de locuteurs. En effet, la valeur de la pente est plus élevée chez les locuteurs de contrôle par rapport aux locuteurs pathologiques. Les locuteurs pathologiques feraient donc preuve d'une plus grande résistance coarticulatoire pour cette consonne. Notons surtout les valeurs du coefficient de détermination (R^2), qui sont toujours supérieures chez les locuteurs de contrôle.
Ces résultats corroborent ceux attestés dans la littérature (voir par ex., [7]) sur les équations du locus, puisque l'ordre attendu du degré de coarticulation était bien [p], [k] > [t].
Nous retiendrons surtout la plus grande variabilité des valeurs chez les locuteurs pathologiques.
Selon certains auteurs (Tabain [6], Modaresi *et al.* [15]), l'équation du locus serait variable en fonction du VOT, il serait donc intéressant de reprendre ces mêmes analyses en mesurant F2-début à l'explosion même, d'autant plus que le VOT est en général perturbé (souvent plus long) chez les locuteurs atteints de cette pathologie.
Il est important de prendre ces résultats avec précaution, dans la mesure où nous devrions étendre cette étude à davantage de locuteurs pathologiques. Signalons cependant que dans une grande majorité des études sur les équations du locus, les résultats sont présentés tous contextes confondus, ce qui empêche de déceler la source précise de toute variabilité. La présente étude a le mérite de reposer aussi sur des analyses intra-condition, malgré le nombre réduit de locuteurs.

BIBLIOGRAPHIE

[1] B. Lindblom. Spectrographic study of vowel reduction, *Journal of the Acoustical Society of America* 35:1773-1781, 1963

[2] D. Krull. Second formant locus pattern as a measure of consonant-vowel coarticulation, Phonetic Experimental Research at the Institute of Linguistics, *University of Stockholm (PERILUS)* 5:43-61, 1987

[3] D. Krull. Second formant locus pattern and consonant-vowel coarticulation in spontaneous speech, *Phonetic Experimental Research at the Institute of Linguistics, University of Stockholm (PERILUS)* 10:87-108, 1989

[4] H.M. Sussman. H.A. McCaffrey et S.A. Matthew. An investigation of locus equations as a source of relational invariance for stop place categorization, *Journal of the Acoustical Society of America* 90:1309-1325, 1991

[5] A. Löfqvist. Interaticulator phasing, locus equations, and degree of coarticulation, *Journal of the Acoustical Society of America* volume 106, pages 2022-2030, 1999

[6] M. Tabain. Voiceless consonant and locus equations : A comparaison with electropalatographic data on coarticulation, *Phonetica* 59:20-37, 2002

[7] C.A Fowler. Invariant, specifiers, cues : An investigation of locus equations as information for place of articulation, *Perception & Psychophysics* 55 (6):1597-610, 1994

[8] C. Thibault, F. Vernel-Bonneau. *Les fentes faciales*, Masson ed., collection orthophonie, 1999

[9] F. Gibbon, L. Ellis, L. Crampin. Articulatory placement for /t/, /d/, /k/ and /g/ targets in school age children with speech disorders associated with cleft palate. *Clin. Linguist Phon.*, 18(6-8) : 391-404, 2004

[10] G. Powers. Cinefluorographic investigation of articulatory movements of selected individuals with cleft palate, *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 40:106-114, 1962

[11] C. Lawrence, BJ. Phillips. A telefluoroscopic study of lingual contacts made by persons with cleft palate defects, *Cleft Palate Journal*, 12: 84-94, 1975

[12] J. Trost. Articulatory additions to the classical description of persons with cleft palate, *Cleft Palate Journal*, 18:230-239, 1981

[13] S. Ha, H. Sim, M. Zhi, D.P. Kuehn. An acoustic study of the temporal characteristics of nasalization in children with and without cleft palate, *the Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 41(5):535-543, 2003

[14] B. Lindblom. *The status of phonetic gesture*. In Modularity and the Motor Theory of Speech Perception (eds.) Mattingly, I. & Studdert-Kennedy, .pages 7-24, 1991

[15] G. Modaresi, H.M. Sussman, B. Lindblom, E. Burlingame. Locus equation encoding of stop place : revisiting the voicing/VOT issue, Letter to the editor, *Journal of Phonetics* 33: 101-113, 2005

REMERCIEMENTS

Cette recherche a été financée par un contrat de la Maison Interuniversitaire des Sciences de l'Homme d'Alsace – MISHA, 2005 – 2008, ainsi que par une ANR, DOCVACIM, 2008 – 2012. Nous remercions également la Région Alsace (Bourse 2006 – 2008).