

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LA COMPENSATION À UNE PERTURBATION LABIALE CHEZ LES SOURDS : UNE ÉTUDE DES
LIENS ENTRE LA PERCEPTION ET LA PRODUCTION DE LA PAROLE

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN LINGUISTIQUE

PAR

AMÉLIE BRISEBOIS

FÉVRIER 2010

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 -Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

J'aimerais d'abord exprimer ma sincère reconnaissance à ma directrice. Lucie, grâce à toi, j'ai développé une passion incroyable pour la recherche en phonétique. Tu m'as appris rigueur et persévérance. Ton enthousiasme et ta générosité ont été pour moi une source de motivation au long de ce périple. Ce fut un honneur et un plaisir de travailler avec toi.

Merci également à Henrietta Cedergren et Shari Baum, d'avoir cordialement accepté d'être mes lectrices. Je me considère chanceuse d'être lue par des chercheuses qui, chacune à sa façon, m'inspirent de la sorte.

Je désire aussi remercier l'équipe Parole et Cognition du GIPSA-Lab de m'avoir accueillie lors d'un stage de recherche à l'été 2008. Plus particulièrement, merci à Marc Sato de m'avoir partagé sa flamme scientifique pour laquelle j'aurai toujours une grande admiration.

L'accomplissement de ce mémoire n'aurait jamais été possible sans les participants de cette étude qui ont gentiment prêté leurs voix et oreilles à la science, merci.

Je souhaite également remercier les gens du Laboratoire de phonétique de l'UQAM. Je pense à Corinne, Tatiana, Serge, Caroline, Annie B., Jérôme et Annie L., avec qui j'ai passé de très bons moments. Plus particulièrement, je tiens à exprimer ma gratitude à Mélanie pour son support inconditionnel et sa générosité. Enfin, merci à Gabrielle, avec qui j'ai eu le bonheur de partager joies et peines.

Finalement, merci à ma famille et mes amis de m'avoir épaulé dans mes études et d'avoir compris l'importance de ce projet à mes yeux. Je suis spécialement reconnaissante envers Vincent qui a pris soin de moi pendant tout ce temps.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	xii
RÉSUMÉ.....	xv
INTRODUCTION	1
PREMIÈRE PARTIE	
ÉTAT DE LA QUESTION	1
CHAPITRE I	
NOTIONS THÉORIQUES EN SCIENCES DE LA PAROLE	2
1.1 Phonétique articulatoire.....	2
1.1.1 Propagation de l'onde sonore dans le conduit vocal	2
1.1.2 Représentation des voyelles par tubes.....	8
1.2 La perception auditive.....	9
1.2.1 Anatomie et fonctionnement du système auditif périphérique.....	10
1.2.2 Éléments psycho-acoustiques.....	12
1.3 Éléments de neurophonétique	13
1.3.1 Les premières découvertes	14
1.3.2 La production de la parole.....	15
1.3.3 La perception de la parole : intégration sensorielle.....	16
1.4 Théories de la perception de la parole.....	18
1.4.1 Théories motrices	18
1.4.2 Théories auditives	19
1.4.3 Théories de l'interaction locuteur- auditeur	20
1.4.4 La théorie de la perception pour le contrôle de l'action.....	21

1.5	Conclusion.....	22
-----	-----------------	----

CHAPITRE II

LE RÔLE DU <i>FEEDBACK</i> AUDITIF : L'APPORT DES ÉTUDES DE PERTURBATION DE LA PAROLE		23
---	--	----

2.1	Le rôle du <i>feedback</i> auditif.....	23
2.1.1	L'impact de la perte auditive sur la parole.....	24
2.1.2	Le rôle du <i>feedback</i> auditif dans le modèle DIVA	25
2.1.3	Liens entre la perception et la production	27
2.2	Les perturbations.....	30
2.2.1	Les expériences avec une plaque occlusale.....	30
2.2.2	Les perturbations structurales.....	31
2.3	Les autres types de <i>feedbacks</i>	35
2.3.1	Les modèles multisensoriels de perception de la parole	36
2.3.2	Le <i>feedback</i> somatosensoriel.....	39
2.4	Conclusion.....	42

DEUXIÈME PARTIE

MÉTHODOLOGIE.....	43
-------------------	----

CHAPITRE III

PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE.....	44
------------------------------	----

3.1	Participants	44
3.2	Plan expérimental et corpus	49
3.3	Perception.....	50
3.3.1	Stimuli	50
3.3.2	Instrumentation et consignes.....	51
3.3.3	Traitement des résultats.....	52
3.4	Production	52
3.4.1	Corpus	53
3.4.2	Instrumentation	53
3.4.3	Procédure et enregistrement	57
3.4.4	Données acoustiques	57
3.4.5	Données articulatoires : images de la langue	58

3.5	Conclusion.....	60
TROISIÈME PARTIE		
	RÉSULTATS	61
CHAPITRE IV		
	ANALYSE DE LA PRODUCTION DE LA PAROLE.....	62
4.1	Description des résultats acoustiques	62
4.1.1	Données groupées	63
4.1.2	Les résultats individuels	68
4.1.3	La mesure auditive : une quantification perceptive des voyelles	84
4.2	Description des données articulatoires	86
4.2.1	Données groupées	88
4.2.2	Données individuelles	92
4.3	Conclusion.....	97
CHAPITRE V		
	ANALYSE DES DONNÉES PERCEPTIVES	99
5.1	Données groupées	99
5.2	Données par sujet	103
5.3	Conclusion.....	107
	Quatrième partie	108
	Interprétation des résultats et remarques conclusives	108
CHAPITRE VI		
	DISCUSSION	109
6.1	Stratégies compensatoires	109
6.1.1	Composants des analyses acoustiques et articulatoires	109
6.1.2	Effet postperturbation.....	113
6.1.3	Résumé et conclusion.....	114
6.2	Le rôle du <i>feedback</i> auditif.....	115
6.2.1	Le contrôle laryngé	115
6.2.2	Analyse formantique et articulatoire	116

6.3	Regards sur les liens entre la perception et la production de la parole.....	119
6.4	Remarques sur les représentations de la parole.....	122
	CONCLUSION.....	123
	ANNEXES	125
	APPENDICE A LETTRE D'INFORMATION ET FORMULAIRE DE CONSENTEMENT	126
	APPENDICE B DONNÉES ACOUSTIQUES	137
	APPENDICE C RÉSULTATS ET ANALYSES STATISTIQUES ARTICULATOIRES.....	155
	APPENDICE D RÉSULTATS DU TEST DE PERCEPTION	178
	RÉFÉRENCES	181

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Composants articulatoires (en bleu) et acoustiques (F1-F2) du trapèze vocalique français.....	3
Figure 1.2 Mouvements des cordes vocales ; vues supérieures du larynx et des cordes vocales. a) Cordes vocales en position fermée b) Cordes vocales en position ouverte (tiré de Marieb, 2005).....	3
Figure 1.3 Appareil phonatoire adulte (traduit de Kent, 1997).....	5
Figure 1.4 Effets des muscles extrinsèques de la langue montrant une relation orthogonale parmi les muscles antagonistes. Le génioGLOSSe postérieur (GGP) et le hyoglosse (HG) forment une paire antagoniste majeure, et le styloglosse (SG) et le génioGLOSSe antérieur forment une autre paire de muscles antagonistes. Les triangles indiquent la position de l'os hyoïde (tiré de Honda, 1996).....	7
Figure 1.5 Représentation schématique du modèle de Fant. À chaque section est associée une aire (A) et une longueur (L) à partir desquelles les fréquences peuvent être calculées.	8
Figure 1.6 Anatomie de l'oreille interne et moyenne (tiré de Bear, Connors et Paradiso, 1997).	10
Figure 1.7 Anatomie de la cochlée (tiré de Bear, Connors et Paradiso, 1997).	11
Figure 1.8 Anatomie fonctionnelle de la cochlée (tiré de Bear, Connors et Paradiso, 1997).	12
Figure 1.9 Seuil d'audibilité des fréquences (Bark) selon leur amplitude (dB).....	13
Figure 1.10 Aires impliquées dans la parole (Bear, Connors et Paradiso, 2007).....	14
Figure 1.11 Activation spécifique du cortex moteur en perception de la parole. Les zones rouges représentent l'activation labiale et les zones vertes l'activation linguale (tiré de Pulvermuller et al., 2006).	17
Figure 1.12 Schématisation d'une relation changeante entre un paramètre acoustique et acoustique (adapté de Stevens, 1989).	20
Figure 1.13 Domaines d'hypo-articulation et d'hyperarticulation en parole selon le contexte (adapté de Lindblom, 1987).....	21

Figure 2.1 Schéma du modèle d'acquisition et de production de la parole DIVA (adapté de Guenther, 2006).	26
Figure 2.2 Valeurs moyennes de F1 pour la voyelle cible [ε] dont le F1 est augmenté, les essais sont représentés sur l'axe x (tiré de Purcell et Munhall, 2006).	28
Figure 2.3 Schémas des régions cibles et des réponses compensatoires pour la voyelle [ε] chez un locuteur ayant une haute acuité (petit cercle continu) et un locuteur ayant une faible acuité (grand cercle discontinu). La perturbation de F1 est indiquée par la flèche pointillée et la réponse compensatoire par les flèches continues et discontinues (tiré de Perkell, 2007).	29
Figure 2.4 Modèle neurobiologique (adapté de Hickok et Poeppel, 2004).	37
Figure 2.5 Modèle d'activation somatotopique des cortex moteurs et sensoriels (adapté de Skipper <i>et al.</i> 2007).	39
Figure 2.6 L'outil robotisé appliquant une charge dépendante de la vélocité à la mâchoire (tiré de Nasir et Ostry, 2008).	40
Figure 2.7 Évaluation de la perception de /s/ et /ʃ/. (a) Moyennes d'identification des consonnes, prétest (ligne continue) et posttest (ligne pointillée), basées sur la frontière de la fréquence centroïde moyenne. (b) Moyennes des déplacements catégoriels suite à la tâche de production. (tiré de Shiller <i>et al.</i> , 2009)	41
Figure 3.1 Interface du test de perception.	52
Figure 3.2 Configuration articulaire de la voyelle /u/ (tiré de Savariaux et al., 1995).	53
Figure 3.3 Tubes labiaux.	54
Figure 3.4 Coupe sagittale de la surface de la langue telle que captée par l'ultrasonographie.	55
Figure 3.5 Casque à sonde ultrason.	56
Figure 3.6 Étiquetage des fichiers sonores.	58
Figure 3.7 Traçé des contours de langue avec le logiciel <i>EdgeTrak</i> .	59
Figure 3.8 Triangle formé par <i>LINGUA</i> à partir des points A, B et C.	59
Figure 3.9 Types de triangles obtenus pour les voyelles [a], [i] et [u] à partir de contours réels (tiré d'Aubin, 2006).	60
Figure 4.1 Moyenne des variations en % (/N1) de F1 pour les deux groupes et pour les conditions N1, (préperturbation), N2 (postperturbation) et P1-P2 (perturbées) (*p<0,05 ; ** p<0,01 ; *** p<0,001).	64
Figure 4.2 Moyenne des variations en % (/N1) de F2 pour les deux groupes et pour les conditions N1 (préperturbation), P1 et P2 (perturbées), et N2 (postperturbation) (*p<0,05 ; ** p<0,01 ; *** p<0,001).	65

Figure 4.3 Moyenne des variations en % (/N1) de F0 pour les deux groupes et pour les deux groupes et pour les conditions N1 (préperturbation), P1 et P2 (perturbées), et N2 (postperturbation) (*p<0,05 ; ** p<0,01 ; *** p<0,001).	67
Figure 4.4 Cas de figure des types de compensations observées.	75
Figure 4.5 Cas de figure des effets postperturbatoires.	75
Figure 4.6 Résultats acoustiques pour la voyelle [u] du locuteur ac_e : a) Ellipses de dispersion sur le plan F1 vs F2, b) Moyennes de fréquence fondamentale par condition, c) et d) Évolution de la différence des formants 1 et 2, en Bark.	76
Figure 4.7 Résultats acoustiques pour la voyelle [u] du locuteur bt_e : a) Ellipses de dispersion sur le plan F1 vs F2, b) Moyennes de fréquence fondamentale par condition, c) et d) Évolution de la différence des formants 1 et 2, en Bark.	77
Figure 4.8 Résultats acoustiques pour la voyelle [u] du locuteur dm_e : a) Ellipses de dispersion sur le plan F1 vs F2, b) Moyennes de fréquence fondamentale par condition, c) et d) Évolution de la différence des formants 1 et 2, en Bark.	78
Figure 4.9 Résultats acoustiques pour la voyelle [u] de la locutrice fg_e : a) Ellipses de dispersion sur le plan F1 vs F2, b) Moyennes de fréquence fondamentale par condition, c) et d) Évolution de la différence des formants 1 et 2, en Bark.	79
Figure 4.10 Résultats acoustiques pour la voyelle [u] du locuteur al_c : a) Ellipses de dispersion sur le plan F1 vs F2, b) Moyennes de fréquence fondamentale par condition, c) et d) Évolution de la différence des formants 1 et 2, en Bark.	80
Figure 4.11 Résultats acoustiques pour la voyelle [u] du locuteur fb_c : a) Ellipses de dispersion sur le plan F1 vs F2, b) Moyennes de fréquence fondamentale par condition, c) et d) Évolution de la différence des formants 1 et 2, en Bark.	81
Figure 4.12 Résultats acoustiques pour la voyelle [u] du locuteur fl_c : a) Ellipses de dispersion sur le plan F1 vs F2, b) Moyennes de fréquence fondamentale par condition, c) et d) Évolution de la différence des formants 1 et 2, en Bark.	82
Figure 4.13 Résultats acoustiques pour la voyelle [u] du locuteur sd_c : a) Ellipses de dispersion sur le plan F1 vs F2, b) Moyennes de fréquence fondamentale par condition, c) et d) Évolution de la différence des formants 1 et 2, en Bark.	83
Figure 4.14 Valeurs de la mesure perceptive (Bark) pour le groupe expérimental, par sujet et pour les conditions N1 (préperturbation), P1 et P2 (perturbées) et N2 (postperturbation).	85
Figure 4.15 Valeurs de la mesure perceptive (Bark) pour le groupe contrôle, par sujet et pour les conditions N1 (préperturbation), P1 et P2 (perturbées) et N2 (postperturbation).	86
Figure 4.16 Triangle formé par le programme <i>LINGUA</i>	87
Figure 4.17 Moyenne des variations en % (/N1) de l'asymétrie pour les deux groupes et pour les conditions N1 (préperturbation), P1 et P2 (perturbées), et N2 (postperturbation).	88

Figure 4.18 Moyenne des variations en % (/N1) de la courbure pour les deux groupes et pour les conditions N1 (préperturbation), P1 et P2 (perturbées), et N2 (postperturbation).	89
Figure 4.19 Moyenne des variations en % (/N1) de y_de_ymax pour les deux groupes et pour les conditions N1 (préperturbation), P1 et P2 (perturbées), et N2 (postperturbation) (* $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$).	90
Figure 4.20 Moyenne des variations en % (/N1) de x_de_ymax pour les deux groupes et pour les conditions N1 (préperturbation), P1 et P2 (perturbées), et N2 (postperturbation) (* $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$).	91
Figure 4.21 Formes et positions de la langue pour le locuteur ac_e.	92
Figure 4.22 Formes et positions de la langue pour le locuteur bt_e.	92
Figure 4.23 Formes et positions de la langue pour le locuteur dm_e.	93
Figure 4.24 Formes et positions de la langue pour la locutrice fg_e.	93
Figure 4.25 Formes et positions de la langue pour le locuteur al_c.	93
Figure 4.26 Formes et positions de la langue pour le locuteur fb_c.	94
Figure 4.27 Formes et positions de la langue pour la locutrice fl_c.	94
Figure 4.28 Formes et positions de la langue pour le locuteur sd_c.	95
Figure 5.1 Exemple de données perceptives (sur l'axe x : [u]=1, [o]=11).	100
Figure 5.2 Moyenne de pourcentage de réponses [u] pour chaque voyelle pour le groupe contrôle ([u]= 1, [o]= 11).	101
Figure 5.3 Moyenne de pourcentage de réponses [u] pour chaque voyelle pour le groupe expérimental ([u]= 1, [o]= 11).	102
Figure 5.4 Courbe de perception des voyelles [u] et [o] par stimulus ([u]=1, [o]=11) pour le locuteur ac_e.	104
Figure 5.5 Courbe de perception des voyelles [u] et [o] par stimulus ([u]=1, [o]=11) pour le locuteur bt_e.	104
Figure 5.6 Courbe de perception des voyelles [u] et [o] par stimulus ([u]=1, [o]=11) pour le locuteur dm_e.	105
Figure 5.7 Courbe de perception des voyelles [u] et [o] par stimulus ([u]=1, [o]=11) pour le locuteur sb_e.	105
Figure 5.8 Courbe de perception des voyelles [u] et [o] par stimulus ([u]=1, [o]=11) pour le locuteur al_c.	106
Figure 5.9 Courbe de perception des voyelles [u] et [o] par stimulus ([u]=1, [o]=11) pour le locuteur fb_c.	106
Figure 5.10 Courbe de perception des voyelles [u] et [o] par stimulus ([u]=1, [o]=11) pour le locuteur fl_c.	106

Figure 5.11 Courbe de perception des voyelles [u] et [o] par stimulus ([u]=1, [o]=11) pour le locuteur sd_c.	107
Figure 6.1 Cas de figure des comportements compensatoires observés. Les lignes représentent les contours de langue : l'apex à droite et la racine à gauche.	112
Figure 6.2 Cas de figure des effets postperturbatoires.	113

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 Muscles assurant les mouvements de la langue (tiré de (Leclerc, 2007)).....	6
Tableau 1.2 Affiliation formants-cavités pour l'homme adulte du modèle VLAM (tiré de Ménard, 2002).....	9
Tableau 3.1 Données sociodémographiques et cliniques des participants malentendants.....	46
Tableau 3.2 Données sociodémographiques des participants entendants.....	46
Tableau 3.3 Classification audiométrique des types de déficiences auditives.....	48
Tableau 3.4 Devis expérimental.....	50
Tableau 3.5 Valeurs des voyelles aux extrêmes du continuum	51
Tableau 4.1 ANOVA sur le pourcentage de changement de F1 lors des conditions P1-P2 (perturbées) et N2 (postperturbation) par rapport à la condition N1 (préperturbation) au cours des 19 répétitions pour les deux groupes de sujets (* p<0,05 ; ** p<0,01 ; *** p<0,001).....	64
Tableau 4.2 ANOVA sur le pourcentage de changement de F2 lors des conditions P1-P2 (perturbées) et N2 (postperturbation) par rapport à la condition N1 (préperturbation) au cours des 19 répétitions pour les deux groupes de sujets (*p<0,05 ; ** p<0,01 ; *** p<0,001).....	66
Tableau 4.3 ANOVA sur le pourcentage de changement de F0 (milieu) lors des conditions P1-P2 (perturbées) et N2 (postperturbation) par rapport à la condition N1 (préperturbation) au cours des 19 répétitions pour les deux groupes de sujets (*p<0,05 ; ** p<0,01 ; *** p<0,001).....	67
Tableau 4.4 Valeurs de F1, (écart type) en Hz et [variation/N1 en %] pour tous les sujets, dans les quatre conditions.	69
Tableau 4.5 Valeurs de F2, (écart type) en Hz et [variation/N1 en %] pour tous les sujets, dans les quatre conditions.	71
Tableau 4.6 Valeurs de F0 (écart type) en Hz et [variation/N1 en %] pour tous les sujets, dans les quatre conditions.....	72

Tableau 4.7 Différences significatives observées en condition perturbée P1 par rapport aux valeurs de la condition normale préperturbation N1 pour la voyelle [u] (*= $p<0.05$; **= $p<0.01$; ***= $p<0.001$)	73
Tableau 4.8 Différences significatives observées en condition normale postperturbation N2 par rapport aux valeurs de la condition normale préperturbation N1 pour la voyelle [u] (*= $p<0.05$; **= $p<0.01$; ***= $p<0.001$).....	74
Tableau 4.9 Récapitulatif des résultats acoustiques individuels	84
Tableau 4.10 ANOVA sur le pourcentage de changement de x_de_ymax lors des conditions P1-P2 (perturbées) et N2 (postperturbation) par rapport à la condition N1 (préperturbation) au cours des 19 répétitions pour les deux groupes de sujets (*= $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$).....	91
Tableau 4.11 Différences significatives observées en condition perturbée P1 par rapport aux valeurs de la condition normale préperturbation N1 pour la voyelle [u] (*= $p<0.05$; **= $p<0.01$; ***= $p<0.001$)	95
Tableau 4.12 Différences significatives observées en condition perturbée P2 par rapport aux valeurs de la condition perturbée P1 pour la voyelle [u] (*= $p<0.05$; **= $p<0.01$; ***= $p<0.001$).....	96
Tableau 4.13 Différences significatives observées en condition normale postperturbation N2 par rapport aux valeurs de la condition normale préperturbation N1 pour la voyelle [u] (*= $p<0.05$; **= $p<0.01$; ***= $p<0.001$).....	97
Tableau 5.1 Résultats moyens et écarts types (% réponses [u]) aux tests de perception pour le groupe contrôle ([u]= 1, [o]= 11)	101
Tableau 5.2 Résultats moyens et écarts types (% réponses [u]) aux tests de perception pour le groupe expérimental ([u]= 1, [o]= 11)	102
Tableau 5.3 Moyenne de variation et valeur de la pente à 50% de reconnaissance pour tous les sujets	103
Tableau 6.1 Récapitulatif des modifications acoustiques par sujet.....	110
Tableau 6.2 Différences significatives observées en condition normale postperturbation N2 par rapport aux valeurs de la condition normale préperturbation N1 pour la voyelle [u] (*= $p<0.05$; **= $p<0.01$; ***= $p<0.001$).....	118
Tableau B1 Résultats acoustiques individuels. Conditions : 1_N= N1, 2_P=P1, 3_P=P2, 4_N=N2. F1, F2 et F0 en Hertz, la mesure auditive en Bark.....	137
Tableau C1 Résultats articulatoires individuels. Conditions : 1_N= N1, 2_P=P1, 3_P=P2, 4_N=N2. y_deymax et x_de_ymax en pixels.	155
Tableau C2 ANOVA sur le pourcentage de changement de l'asymétrie lors des conditions P1-P2 (perturbées) et N2 (postperturbation) par rapport à la condition N1 (préperturbation) au cours des 19 répétitions pour les deux groupes de sujets (*= $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$).....	175

Tableau C3 ANOVA sur le pourcentage de changement de la courbure lors des conditions P1-P2 (perturbées) et N2 (postperturbation) par rapport à la condition N1 (préperturbation) au cours des 19 répétitions pour les deux groupes de sujets (* $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$).....	175
Tableau C4 ANOVA sur le pourcentage de changement de y_de_ymax lors des conditions P1-P2 (perturbées) et N2 (postperturbation) par rapport à la condition N1 (préperturbation) au cours des 19 répétitions pour les deux groupes de sujets (* $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$).....	176
Tableau C5 Résultats par sujet de l'analyse discriminante pour les variables <i>asymétrie</i> et <i>courbure</i>	176
Tableau C6 Résultats par sujet de l'analyse discriminante pour les variables x_de_ymax et y_de_ymax	177
Tableau D1 Moyenne des résultats individuels au test de perception. [u]=100 et [o]=0	178

RÉSUMÉ

Il a été montré que les capacités de production de la parole sont étroitement reliées aux capacités de perception auditive. Par exemple, les locuteurs sourds profonds voient leurs voyelles et consonnes significativement altérées. L'implantation cochléaire est un outil de choix afin de restaurer, du moins partiellement, le feedback auditif. Cette étude vise à décrire la production et la perception de la voyelle [u] et à établir des liens entre l'accès au feedback auditif et la performance à une tâche de compensation à une perturbation labiale. Le paradigme des perturbations labiales consiste en l'insertion d'un tube entre les lèvres du locuteur, bloquant ainsi l'un des principaux articulateurs. Ce faisant, le locuteur est forcé de retrouver une stratégie alternative de production de [u] à l'aide de la perception auditive de sa propre production. Quatre locuteurs sourds ayant un implant cochléaire ont été enregistrés lors de la production des mots « au goût » (/ogu/) avec ou sans leur appareil; et en condition normale ou perturbée (tube labial). Des données acoustiques et articulatoires ont été recueillies en enregistrant les mouvements de la langue par échographie et la parole de locuteurs sourds et entendants. Les mêmes sujets ont aussi effectué un test de catégorisation auditive avant et après la tâche de production. Les analyses formantiques démontrent un important effet de groupe sur le premier formant, tant en condition perturbée que non-perturbée. Les résultats indiquent aussi que la dégradation du *feedback* auditif à long-terme affecte la fréquence fondamentale chez les sourds. En ce qui concerne l'articulatoire, les différences interindividuelles sont davantage ressorties que celles intergroupes. En somme, sur le plan articulatoire, les sourds et les entendants ont autant compensé à la perturbation labiale. La régulation du premier formant chez les sourds indique cependant que la rétroaction auditive influence des paramètres segmentaux de la parole sans pour autant affecter globalement la production de la parole. Pour ce qui est des résultats au test de perception, les locuteurs sourds semblent avoir une représentation moins claire du contraste [u]/[o] que les entendants. L'impact de la tâche de phonation sur la perception de la parole a été de concentrer les réponses données autour d'un stimulus. Considérant globalement les données de cette étude, nous croyons que les représentations de la parole sont de nature multisensorielles et intègrent les informations changeantes des *feedbacks* afférents.

Mots clés : phonétique, surdité, production de la parole, perception, perturbation articulatoire

INTRODUCTION

Le développement normal de la parole est tributaire de nombreux facteurs, par exemple, si un enfant naît sourd, apprendre à parler est pour lui un défi. N'ayant pas accès aux indices acoustiques de la parole, son apprentissage repose sur d'autres modalités sensorielles. Par ailleurs, un adulte ayant acquis la parole qui perd l'usage de l'audition continuera à communiquer oralement de façon normale pendant de nombreuses années. Avec le temps, on remarquera quelques différences, principalement aux niveaux du rythme et de l'intonation, entre sa parole et celle d'adultes entendants. Quelques recherches démontrent toutefois qu'il existe des caractéristiques particulières dans la parole des sourds postlinguaux. Ces observations prouvent que le *feedback* auditif, c'est-à-dire la rétroaction de sa propre parole, assure le maintien de certaines propriétés de la parole et cet entretien s'effectue via le système de perception. Cette interaction supporte l'idée que la perception et la production de la parole sont liées et ont des mécanismes communs.

Ce mémoire propose d'investiguer l'impact de la privation auditive sur la parole. Pour ce faire, nous avons recruté quatre adultes sourds postlinguaux ayant un implant cochléaire. Cet appareil permet aux usagers de restaurer partiellement leur audition. Nous comparerons la parole de ces adultes sourds à celle d'adultes entendants. Puisqu'il s'agit de participants sourds qui ont perdu leur audition suite à l'apprentissage de la parole, il n'est pas évident que des différences émergeront entre les deux groupes. Nous avons donc choisi d'étudier plus spécifiquement les capacités d'adaptation des locuteurs dans un paradigme de perturbation articulatoire : les tubes labiaux. Enfin, nous testerons les compétences perceptives des locuteurs pour être en mesure de les lier aux performances langagières.

Ce mémoire a pour objectif principal de décrire la production et la perception de la voyelle [u] chez des sourds postlinguaux. D'abord nous décrirons les effets acoustiques et articulatoires de la perturbation labiale et de la variation d'état de feedback auditif. Pour étudier ces deux aspects, nous avons demandé à nos participants de produire la voyelle [u] en condition perturbée (avec tube labial) et en condition normale (sans tube labial). Aussi, les participants sourds ont effectué la moitié des occurrences sans l'apport auditif de leur prothèse. Nous souhaitons ainsi pouvoir évaluer les capacités compensatoires des participants et lier ces dernières aux différents états de feedback auditif. Enfin, nous investiguerons également la perception de la voyelle [u] chez nos participants afin de comprendre si la discrimination auditive est liée aux mécanismes de compensation et, plus globalement, à la production de la parole.

La première partie constitue le cadre théorique et comporte deux chapitres. Le premier chapitre vise à introduire le lecteur aux notions théoriques en sciences de la parole. Le premier volet présente quelques concepts de base en phonétique articulatoire et les composants anatomiques de la production de la parole. Le fonctionnement de la perception auditive et des éléments neurophonétiques feront l'objet des deuxième et troisième volets de ce chapitre. Pour conclure, des théories fondatrices de la perception de la parole seront brièvement discutées.

Le deuxième chapitre adresse plus spécifiquement la question centrale de ce mémoire, c'est-à-dire le rôle du *feedback* auditif et l'apport des études de perturbation de la parole. Dans la première section, nous nous intéresserons aux impacts de la perte auditive et au modèle DIVA qui explique les rôles des différents *feedbacks* sur le système de gestion de la parole. Une revue de littérature des études de perturbation de la parole sera présentée dans la deuxième section. Enfin, la troisième section de ce chapitre s'attarde aux *feedbacks* moteurs et somatosensoriels qui sont également impliqués dans l'apprentissage et l'adaptation de la parole.

La méthodologie fait l'objet de la seconde partie. Le chapitre trois, intitulé *Méthodologie*, comprend une description détaillée des caractéristiques des participants ainsi que des techniques d'investigation. Une attention particulière a été portée au devis expérimental, le choix de ce dernier nous permet d'évaluer l'impact de la privation auditive et de la perturbation labiale sur les caractéristiques acoustiques et articulatoires de la parole des

participants. Le matériel utilisé ainsi que les méthodes d'analyses pour les données acoustiques et articulatoires seront aussi décrits dans ce chapitre.

La troisième partie de ce mémoire présente les résultats obtenus aux volets production et perception. Le quatrième chapitre décrit les résultats acoustiques et articulatoires obtenus lors de l'enregistrement de la parole des participants sourds et entendants.

Le chapitre 5 présente l'analyse des résultats obtenus aux tests de perception dans le but d'établir une relation entre ces derniers et la production de la parole.

Finalement, la dernière partie présente une discussion des résultats obtenus à la lumière des théories présentées. Un accent particulier sera mis sur le rôle de la rétroaction auditive et les phénomènes de compensation dans le courant des théories qui défendent des liens importants entre la production et la perception de la parole.

PREMIÈRE PARTIE

ÉTAT DE LA QUESTION

CHAPITRE I

NOTIONS THÉORIQUES EN SCIENCES DE LA PAROLE

Ce premier chapitre aborde certaines notions préalables à la recherche en phonétique. La première partie constitue une assise à la compréhension des mécanismes articulatoires et des éléments psycho-acoustiques qui soutiennent la communication parlée. La deuxième partie s'attarde aux récentes découvertes en neurosciences et plus particulièrement sur les fondements psychobiologiques du comportement langagier. Enfin, la dernière section explore quelques théories classiques de la perception de la parole.

1.1 Phonétique articulatoire

1.1.1 Propagation de l'onde sonore dans le conduit vocal

Ce mémoire s'intéresse aux variations perceptuelles et articulatoires reliées au phonème /u/. Il faut savoir que cette voyelle est réalisée en fonction des autres éléments vocaliques du système phonétique français. En d'autres mots, l'acuité de sa perception et de sa production est définie par rapport aux autres éléments du trapèze vocalique. La variabilité géométrique du conduit vocal permet à l'humain de produire une multitude de sons. Aussi, chaque voyelle a des propriétés articulatoires et acoustiques qui lui sont propres. La figure 1.1 illustre les caractéristiques articulatoires ainsi que les corrélats acoustiques des voyelles du français qui seront traités en profondeur dans cette section.

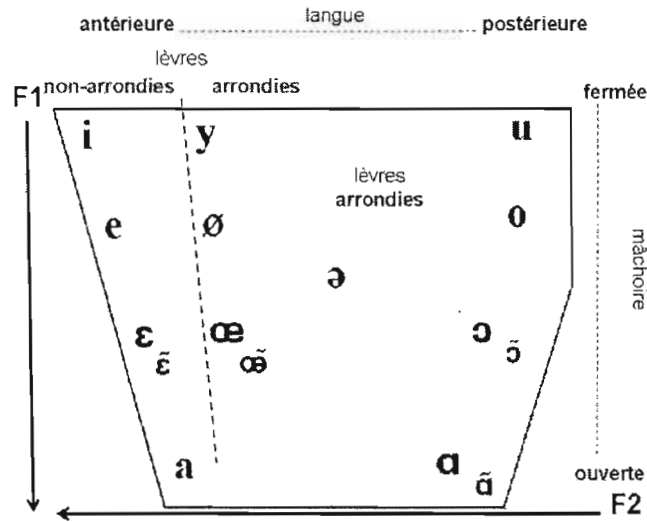


Figure 1.1 Composants articulatoires (en bleu) et acoustiques (F1-F2) du trapèze vocalique français.

Lors de la production de voyelles, les trois sections du conduit vocal, les poumons, le larynx et les cavités supra-glottiques, sont sollicitées. La plupart des sons de la parole sont émis durant les 3-4 secondes de la phase d'expiration. Le flux d'air évacué traverse le larynx, permettant la vibration des cordes vocales qui y sont situées. Le larynx est constitué de cartilages, le thyroïde, le cricoïde et les deux aryténoïdes, reliés par des muscles¹, et protège des membranes musculaires muqueuses, les cordes vocales (fig. 1.2) (Marieb, 2005).

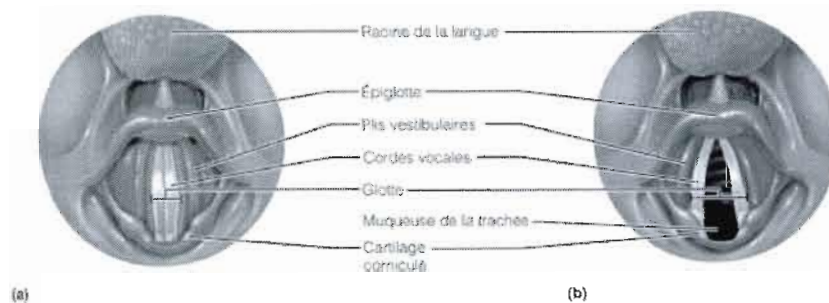


Figure 1.2 Mouvements des cordes vocales ; vues supérieures du larynx et des cordes vocales. a) Cordes vocales en position fermée b) Cordes vocales en position ouverte (tiré de Marieb, 2005)

¹ le crico-thyroïde, le crico-aryténoïde postérieur, le crico-aryténoïde latéral, le thyro-aryténoïde et l'interaryténoïde

Les cartilages et les muscles du larynx tendent, ouvrent et ferment les cordes vocales, mais c'est la pression de l'air qui permet leur vibration. Lors de la respiration normale, le passage est libre, les cordes vocales sont ouvertes. Leur fermeture fait augmenter la pression sous-glottique, ce qui force leur ouverture. À leur fermeture, la pression sous-glottique augmente et force leur ouverture. À ce moment, la pression sous-glottique diminue à nouveau et les cordes vocales se referment. Ce phénomène de double mouvement, nommé *effet Bernouilli*, se produit plusieurs fois par seconde et constitue l'élément essentiel à la sonorité. À cette étape, le son émis est indifférencié et ne correspond à aucun phonème, cette onde glottique complexe caractérise la hauteur de la voix (fréquence fondamentale, f_0). Par ailleurs, cette fréquence est fonction de la pression d'air provenant des poumons et de l'action des muscles laryngés.

L'onde glottique traverse le conduit vocal et est modifiée par la résonance des cavités supra-glottiques (figure 1.3). En traversant ces structures, le spectre acoustique se spécifie et acquiert des propriétés vocaliques. Le pharynx, le conduit situé derrière la langue, est le premier résonateur du son laryngien. Par la suite, soit l'air est bloqué par le voile du palais (palais mou) permettant une résonance uniquement orale, soit il s'écoule également par le nez. La structure mobile du palais mou forme une sorte de clapet qui se détache de la paroi pharyngale pour former une chambre de résonance supplémentaire pour l'onde glottique. Ainsi, la cavité nasale joue un rôle de résonateur et permet la production de sons nasaux.

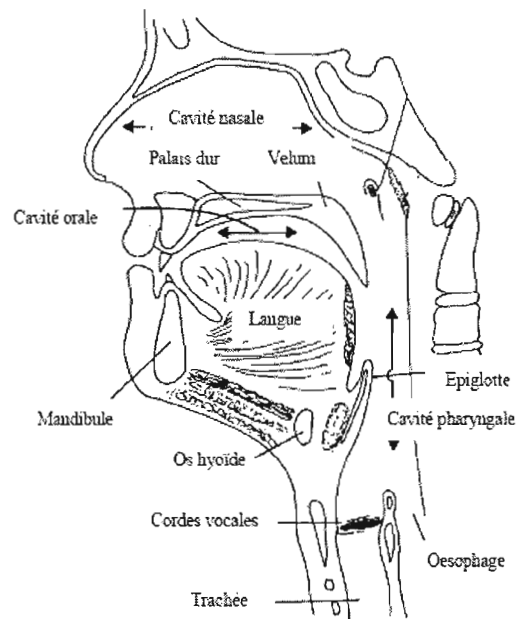


Figure 1.3 Appareil phonatoire adulte (traduit de Kent, 1997).

Au niveau de la cavité orale, l'action de nombreuses structures modifie l'onde sonore : la mâchoire, la langue et les lèvres. Les muscles de la mâchoire, outre leurs fonctions masticatoires, permettent à la bouche d'adopter des configurations plutôt ouvertes ou fermées modifiant ainsi la configuration du conduit vocal et la taille de la cavité orale. La langue, hydrostat musculaire, est un organe composé de muscles. Elle constitue le squelette supportant ses propres mouvements et subit des changements de forme relativement à ce squelette (Kent, 1997). Elle bouge dans toutes les dimensions en faisant simplement des changements compensatoires d'une autre dimension (Kent, 1992). L'action de la langue dépend de deux muscles extrinsèques et de cinq muscles intrinsèques (cf. tableau 1.1). Les muscles extrinsèques relient la langue aux structures adjacentes alors que les muscles intrinsèques forment une matrice tridimensionnelle de fibres dans la langue et sont responsables de sa motricité fine.

Tableau 1.1
Muscles assurant les mouvements de la langue (tiré de (Leclerc, 2007))

Muscles	Actions	Origine
Génioglosse	Baisse ou élève la pointe de la langue; avance la racine de la langue	Extrinsèque
Styloglosse	Élève et rétracte la langue contre le voile du palais; tire la masse de la langue vers l'arrière	Extrinsèque
Hyoglosse	Abaisse la langue et en tire les côtés vers la bas	Extrinsèque
Longitudinal supérieur	Élève la pointe de la langue	Intrinsèque
Longitudinal inférieur	Abaisse la pointe de la langue	Intrinsèque
Transversal	Rend la pointe de la langue moins large	Intrinsèque
Vertical	Aplatit la pointe de la langue	Intrinsèque

Grâce à sa structure malléable, la langue peut effectuer une multitude de mouvements. Pour la description linguistique, on identifie trois parties fonctionnelles de la langue : l'apex, ou la pointe, le dos et la racine (Kent, 1997). Ces composants permettent d'expliquer 88% de la variance de la forme géométrique de la langue (Boë, Perrier et Morris, 1992). La figure 1.4 illustre l'action des muscles extrinsèques. Ces derniers jouent un rôle important dans la production de voyelles et, en ce qui concerne l'articulation du /u/, ce sont principalement le génioglosse postérieur et le styloglosse qui sont sollicités (Honda, 1996).

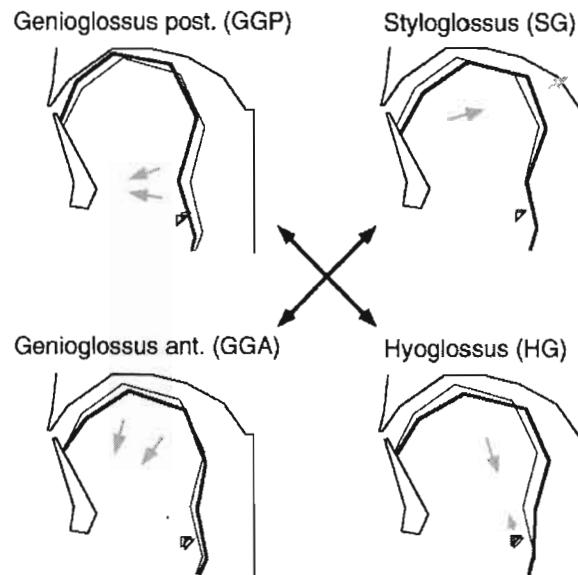


Figure 1.4 Effets des muscles extrinsèques de la langue montrant une relation orthogonale parmi les muscles antagonistes. Le génioglosse postérieur (GGP) et le hyoglosse (HG) forment une paire antagoniste majeure, et le styloglosse (SG) et le génioglosse antérieur forment une autre paire de muscles antagonistes. Les triangles indiquent la position de l'os hyoïde (tiré de Honda, 1996).

Enfin, les lèvres, le dernier lieu de passage de l'onde sonore, font appel à de nombreux muscles faciaux et buccaux et permettent de créer un résonateur supplémentaire : la cavité labiale. Lors de la production de phonèmes, les lèvres peuvent être projetées (protrues), arrondies (retournées), ou rétractées. Pour produire le /u/, les lèvres sont généralement arrondies et protrues.

Bref, les poumons produisent un flux d'air nécessaire à la vibration des cordes vocales donc à la propagation du son. L'onde sonore complexe générée à la glotte constitue la fréquence fondamentale et les harmoniques. Par la suite, certaines de ces harmoniques voient leurs composants amplifiés par les résonateurs supra-glottiques (pharynx, bouche, lèvres). La forme et la dimension des cavités varient, ce qui permet de produire une variété de sons. Chacune de ces cavités amplifie un harmonique différent et, en ce sens, les harmoniques constituent le canevas par lequel les fréquences formantiques (F1-F2-F3-F4), les zones d'énergie maximales, se développent et distinguent acoustiquement les voyelles.

1.1.2 Représentation des voyelles par tubes

Nous avons vu que plusieurs articulateurs s'activent pour moduler l'onde glottique. Or, il est possible de calculer les fréquences acoustiques amplifiées en représentant géométriquement par des tubes les composants du conduit vocal (Fant, 1960). À la figure 1.5, trois paramètres géométriques permettent de faire varier la forme de ce modèle : (1) l'emplacement et (2) l'aire de la constriction faite par la langue et (3) le rapport longueur/aire de la constriction aux lèvres.

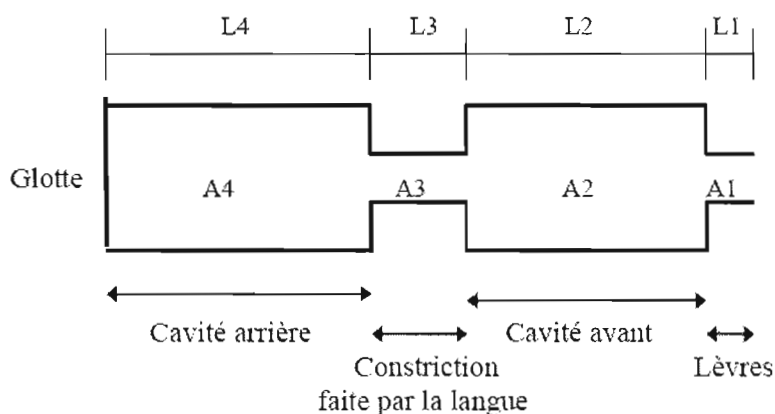


Figure 1.5 Représentation schématique du modèle de Fant. À chaque section est associée une aire (A) et une longueur (L) à partir desquelles les fréquences peuvent être calculées.

Ce modèle explicite la transformation de l'onde glottique par le déplacement des articulateurs pour générer les fréquences formantiques propres aux voyelles. Dans le cas d'une cavité ayant un grand volume et une petite aire de constriction, type Helmholtz, la fréquence de résonance peut être calculée avec la formule :

$$F = (C/2\pi k)\sqrt{(A/LV)}, \text{ où } C = \text{vitesse du son (350m/s)}$$

k = constante

A = aire de la constriction (en cm^2)

L = longueur de la constriction (en cm)

V = volume de la cavité (en cm^3)

En ce qui concerne les deux autres types de tubes, on calcule leur résonance par : $F=(2n-1)c/4L$ pour les tubes ouverts ou fermés aux deux extrémités et $F=nc/2L$ où n est un nombre naturel et L correspond à la longueur de la cavité (cm). Le tableau 1.2 présente les affiliations

formants-cavités des voyelles cardinales du français utilisées lors d'une étude de modélisation (Ménard, 2002).

Tableau 1.2
Affiliation formants-cavités pour l'homme adulte du modèle VLAM (tiré de Ménard, 2002)

Voyelle	F1	F2	F3
[i]	Helmoltz cavité arr.+constr	cavité arr. $\lambda/2$	cavité arr. $\lambda/2$
[a]	cavité arrière $\lambda/4$	cavité avant $\lambda/4$	cavité arrière $3\lambda/4$
[u]	Helmoltz	Helmoltz cavité arr.+constr	cavité arr. $\lambda/2$
[y]	Helmoltz cavité arr.+constr	cavité arr. $\lambda/2$	cavité arr. $\lambda/2$

Le spectre acoustique généré à la glotte subit des transformations prévisibles lors de son passage dans le conduit vocal. À l'inverse, en étudiant le son de la parole, il est possible de retrouver les informations articulatoires correspondant aux voyelles. Même s'ils ne sont pas toujours linéaires, ces corrélats articulatori-acoustiques permettent d'étudier plusieurs aspects de la parole. Nous verrons maintenant de quelle façon le système perceptuel humain traite ces informations afin de former un tout cohérent.

1.2 La perception auditive

En situation de communication, une personne perçoit des informations de diverses sources sensorielles et la parole perçue correspond à une fusion de ces informations. Lorsque l'apport d'une modalité sensorielle fait défaut, comme c'est le cas chez les aveugles ou les malentendants, les autres modalités compensent pour que l'information apportée au cerveau soit la plus complète possible. Et ce, même si la relation entre les multiples informations ne sont pas simplement additives. Puisque cette étude porte sur les impacts de la privation auditive sur la parole, la présente section s'attarde à la perception auditive et à la surdité.

1.2.1 Anatomie et fonctionnement du système auditif périphérique

Tous les sons sont transmis au cerveau via l'oreille et, à la naissance, l'humain est sensible aux fréquences allant de 20 Hz à 22kHz. La partie visible de l'oreille, le pavillon, composé de cartilage recouvert de peau, sert à canaliser le son vers les composantes de l'oreille moyenne et interne. Le passage du son vers l'oreille interne se fait par le conduit auditif débouchant sur le tympan et amplifie le son environ deux fois jusqu'à celui-ci. La membrane tympanique, frontière entre les parties internes et externes de l'oreille, capte les vibrations du son et vibre à son tour afin de transmettre cette énergie aux trois osselets : le marteau, l'enclume et l'étrier (fig. 1.6). Ces derniers sont retenus par deux muscles, le tenseur du tympan et le stapedius. Responsables du réflexe d'atténuation du son, ils protègent l'oreille interne des sons trop forts. La structure osseuse convertit l'énergie aérodynamique, l'oscillation des molécules d'air, en énergie mécanique. Cette transformation a pour effet de tripler l'amplitude perçue au tympan. Aussi, puisque la structure sur laquelle les osselets font pression, la fenêtre ovale, a une surface 30 fois inférieure à celle du tympan, l'énergie sonore transmise est 180 fois amplifiée par rapport à sa puissance à l'entrée de l'oreille.

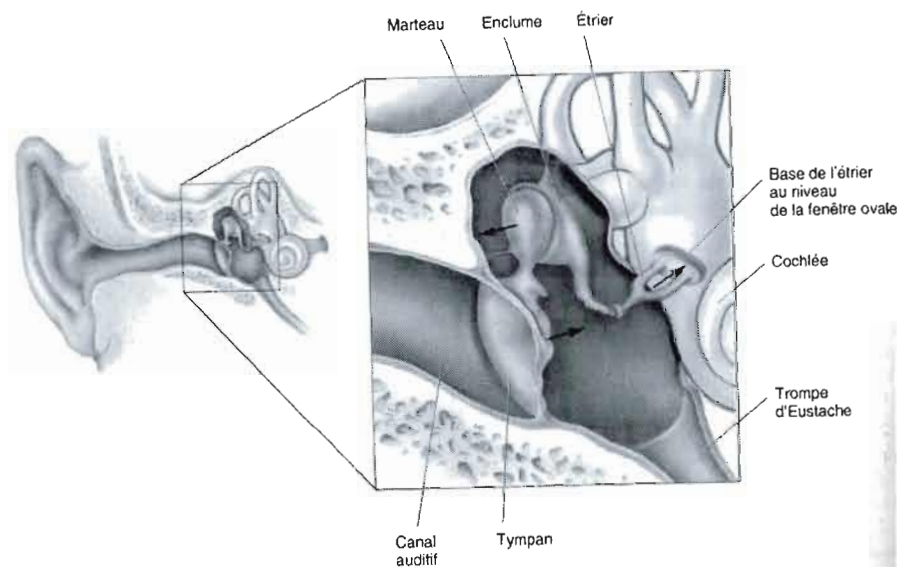


Figure 1.6 Anatomie de l'oreille interne et moyenne (tiré de Bear, Connors et Paradiso, 1997).

Ce son amplifié parvient ensuite au milieu aqueux de la cochlée, par la fenêtre ovale. La structure de la cochlée supporte la transformation de l'énergie physique, la fréquence du son, en influx nerveux. La cochlée est un tube spiralé semblable à la coquille d'un escargot. Elle a une longueur de 32mm, un diamètre de 2 mm et est séparé en trois compartiments : la rampe vestibulaire, la rampe tympanique, situés de part et d'autre de la troisième cavité, le canal cochléaire (fig. 1.7).

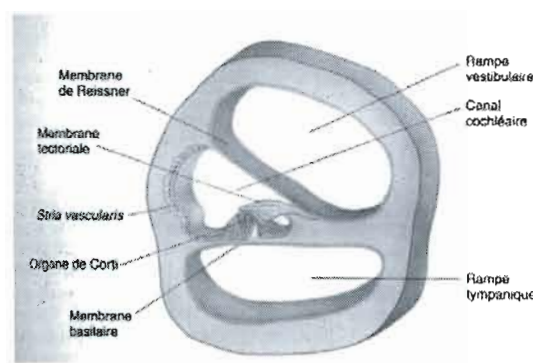


Figure 1.7 Anatomie de la cochlée (tiré de Bear, Connors et Paradiso, 1997).

Les deux rampes contiennent la périlymphe et le canal cochléaire contient l'endolymphe. Ce dernier conduit porte, sur sa membrane basilaire, l'organe de Corti et ses cellules ciliées, les neurones récepteurs auditifs. Les cellules ciliées sont connectées à la membrane tectoriale par les stéréocils qui transmettent l'information électrique aux cellules ciliées qui sont reliées au nerf auditif. La membrane de support de l'organe de Corti est flexible et oscille lorsque le liquide est perturbé par les fréquences sonores. La perception des différentes fréquences sonores est organisée grâce à une propriété structurale de la cochlée : elle est plus large et plus souple à l'apex qu'à la base (fig. 1.8).

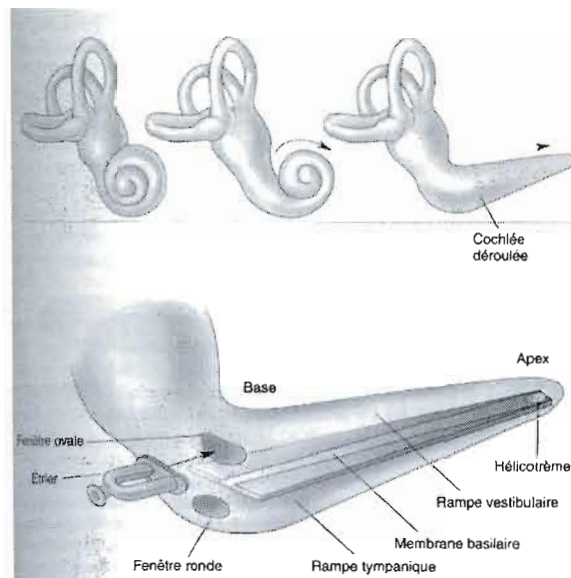


Figure 1.8 Anatomie fonctionnelle de la cochlée (tiré de Bear, Connors et Paradiso, 1997).

Le codage sensoriel est ainsi déterminé par la distance que l'onde parcourt dans la cochlée, la base réagit aux sons de haute fréquence tandis que l'apex réagit aux sons de basse fréquence. Ce classement des fréquences se poursuit dans les fibres nerveuses du nerf auditif, chaque fibre transmet un type de fréquence. L'information nerveuse parvient finalement au cortex auditif primaire via le nerf auditif.

1.2.2 Éléments psycho-acoustiques

La perception des différentes fréquences sonore n'est pas linéaire. La perception du son, à titre d'organe sensoriel, est soumise à la *loi de Fechner* : la sensation est proportionnelle au logarithme de l'excitation. C'est sur une échelle logarithmique que le système auditif perçoit les sons. Le système humain est davantage sensible aux modifications d'intensité (dB) lorsqu'un son est de basse fréquence, c'est le résultat de la distance entre chaque cellule réceptrice sur l'Organe de Corti : il y a beaucoup d'espace alloué aux cellules sensibles aux sons de moins de 3 kHz. La figure 1.9 représente la courbe de sensibilité de l'oreille humaine en termes de fréquence et d'amplitude.

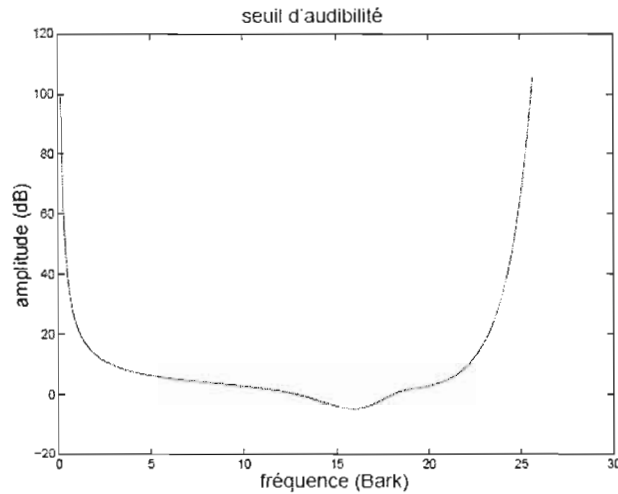


Figure 1.9 Seuil d'audibilité des fréquences (Bark) selon leur amplitude (dB).

Pour représenter cette particularité du système auditif, on calcule les fréquences perçues en Bark dont voici la formule : $F_{\text{bark}} = 7 * \text{asinh}(F_{\text{Hertz}}/650)$. Cette échelle perceptive permet de convertir la valeur d'un son physique en sa valeur réelle dans le cerveau humain. Notons par ailleurs que plusieurs échelles de conversion des fréquences en Hz en unités perceptives existent (Mels, Koenig, etc.).

1.3 Éléments de neurophonétique²

Le développement exponentiel des découvertes en neurosciences a beaucoup servi les sciences du langage et il nous est évidemment impossible de considérer l'intégralité de la recherche dans ce domaine. Cette section a pour objectif de présenter les notions de base concernant les aires corticales impliquées dans les processus de perception et de production de la parole. Nous mettrons ainsi à jour les prémisses neurophysiologiques aux courants scientifiques présentés dans cet ouvrage.

² Cette section ainsi que la section 2.3 ont été élaborées lors d'un stage de recherche au GIPSA-Lab- Département Parole et Cognition, sous la supervision de Marc Sato.

1.3.1 Les premières découvertes

En 1825, dans son *Traité clinique et physiologique de l'encéphalite*, ou inflammation du cerveau, le médecin français Jean-Baptiste Bouillaud (1796-1881) est le premier à défendre l'idée de la localisation fonctionnelle de la parole dans les lobes frontaux. Par la suite, le neurologue Paul Broca (1824-1880) découvre en 1864 que l'aire critique du langage articulé (aire de Broca) est située dans le lobe frontal de l'hémisphère gauche, l'hémisphère dominant du langage. Ces travaux, reposant sur l'étude d'un patient aphasique, constituent la première preuve concrète de localisation anatomique des fonctions cérébrales de la parole. En 1874, Carl Wernicke (1848-1905) découvre à son tour une aire cruciale dans le traitement de la parole : la surface supérieure du lobe temporal entre le cortex auditif et le gyrus angulaire, aujourd'hui nommée aire de Wernicke. Le phénomène observé concerne davantage la compréhension du langage. Ce chercheur est aussi le premier à proposer l'existence d'interconnexions complexes entre le cortex auditif, l'aire de Broca et de Wernicke (reliées par le faisceau arqué) et les muscles de la parole. L'idée selon laquelle la compréhension et la production de la parole sont liés n'est donc pas nouvelle, mais, à cette époque, les preuves tangibles à cet effet n'étaient pas disponibles. La figure 1.10 illustre les aires impliquées dans la parole.

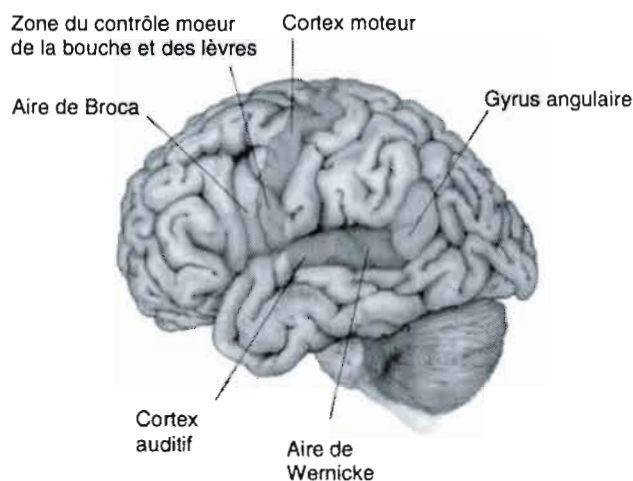


Figure 1.10 Aires impliquées dans la parole (Bear, Connors et Paradiso, 2007).

Par la suite, au 20^e siècle, le cortex cérébral est défini en 52 régions par le neurologue allemand Korbinian Brodmann (1868-1918). Cette typologie, dite cytoarchitectonie, rend compte de l'organisation cellulaire des zones du cortex. De plus, Brodmann associe une fonction précise à chacune des aires. La nomenclature de Brodmann est encore utilisée de nos jours, malgré les découvertes issues des technologies modernes.

1.3.2 La production de la parole

Les techniques de recherche en médecine moderne ont permis d'explorer plus facilement le fonctionnement du cerveau. De plus, les chercheurs se sont attardés davantage à l'activité cérébrale normale plutôt qu'aux pathologies.

Nous allons maintenant nous intéresser à ce qui déclenche l'activité motrice de la parole. De nos jours, les neurosciences envisagent les fonctions cérébrales davantage en termes de réseaux d'activation.

De nombreuses zones contribuent à l'activité articulatoire : les gyri précentraux et postcentraux³, l'insula antérieure, le cortex temporal supérieur à partir du cortex auditif primaire tout au long de la scissure sylvienne jusqu'à la jonction pariéto-temporale, les zones prémotrices médianes incluant l'aire motrice supplémentaire (AMS) et projetant dans la pre-AMS et la gyrus cingulaire, les ganglions de la base (putamen/pallidum), le thalamus et les régions supérieures du cervelet (Bohland et Guenther, 2006). Les variations de la complexité articulatoire/phonologique des stimuli mènent à l'augmentation de ce réseau de base de la parole et recrute des aires additionnelles comme le gyrus frontal inférieur gauche et le cortex pariétal postérieur (Christoffels, Formisano et Schiller, 2007 ; Shergill et al., 2002). On souligne d'ailleurs que ces zones sont probablement impliquées dans la compensation articulatoire en réponse à une perturbation physique. Lors de la planification ou de la production de gestes articulatoires, le lobe temporal supérieur et le cortex somatosensoriel sont aussi activés (Guenther, 2006 ; Guenther et Perkell, 2004). Ce n'est donc pas simplement que des aires motrices qui gèrent les commandes motrices articulatoires.

3 incluant le cortex prémoteur ventral, cortex moteur ventral, cortex somatosensoriel ventral

L'augmentation de l'activité du gyrus temporal supérieur lors de la production de parole dont le feedback acoustique a été altéré (Christoffels, Formisano et Schiller, 2007) et la diminution de cette activité pendant la production de la parole en condition d'écoute normale, c'est-à-dire sans perturbation du feedback auditif (Calvert et Campbell, 2003 ; Skipper, Nusbaum et Small, 2005) appuient l'hypothèse d'un tel mécanisme de correction. Concrètement, l'utilisation des informations somatosensorielles lors de la production de la parole s'avérerait d'autant plus utile aux locuteurs ayant un accès limité à l'information auditive. Ces informations auraient alors un rôle prédominant dans la planification motrice des mouvements articulatoires.

1.3.3 La perception de la parole : intégration sensorielle

Les informations acoustiques parviennent au cerveau par le nerf auditif et sont ensuite distribuées à partir du cortex auditif primaire, situé dans le Gyrus de Heschl, qui est responsable de la perception générale des sons. Typiquement, les études de neuro-imagerie fonctionnelle démontrent que la perception de la parole provoque des réponses bilatérales du lobe temporal (Wilson et al., 2004). On observe une activité accrue, spécifique à la parole, dans les structures du lobe temporal de l'hémisphère gauche. Le cortex auditif secondaire, situé dans le gyrus supérieur temporal, et le sillon temporal supérieur (STG/STS) sont eux aussi activés. Le STG ventral gauche et les zones adjacentes dans le STS s'activent préférentiellement lors de la perception d'informations phonétiques. Cette activation se fait de façon encore plus marquée lors de la perception de signaux intelligibles.

On observe également une activation des zones responsables de l'exécution des mouvements articulatoires (le gyrus frontal inférieur gauche, le cortex moteur primaire et prémoteur) et celles de la proprioception (cortex somatosensoriel) (Skipper *et al.*, 2007a). Aussi, lors de perception auditive de parole, la partie supérieure du cortex prémoteur ventral qui chevauche largement une aire motrice impliquée dans la production de la parole et centrée sur les parties postérieures des frontières de Brodmann 4a et 6 (Pulvermuller, 2005) est activée bilatéralement. Une activation somatotopique, reliée aux propriétés articulatoires des stimuli auditifs a également été observée au sein de cette région lors de l'écoute passive de sons de parole (Pulvermuller *et al.*, 2006 ; Skipper *et al.*, 2007b). Lors de l'écoute du stimulus labial /p/, l'aire motrice associée aux lèvres est activée (zones en rouge) alors que

lors de l'écoute du stimulus relié à la langue, /t/, c'est la région de M1 associée à la langue (zones en vert) qui est activée (fig. 1.11). En d'autres termes, il existe une activation différentielle selon les propriétés articulatoires du phonème perçu.

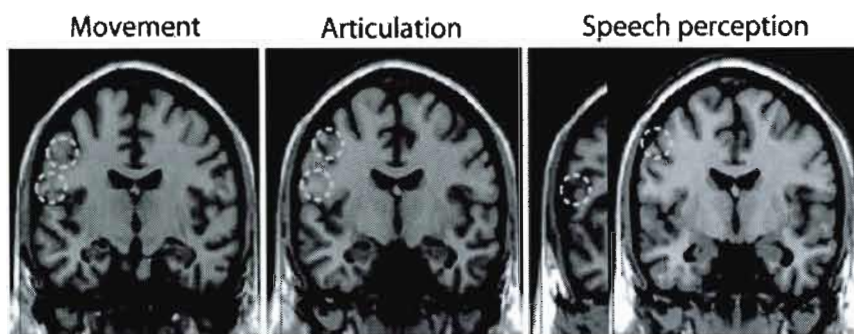


Figure 1.11 Activation spécifique du cortex moteur en perception de la parole. Les zones rouges représentent l'activation labiale et les zones vertes l'activation linguale (tiré de Pulvermuller et al., 2006).

On a aussi constaté que la parole perçue en audio-visuel semble activer plus fortement les zones motrices que la parole en audio seul (Skipper, Nusbaum et Small, 2005 ; Skipper *et al.*, 2007b). D'autres études d'électroencéphalographie (EEG) (Watkins et Paus, 2004 ; Watkins, Strafella et Paus, 2003) et de stimulation magnétique transcrânienne (SMT) (Fadiga *et al.*, 2002) constatent une activité quasi simultanée du lobe temporal supérieur et frontal ainsi qu'une hausse de l'activation des zones motrices articulatoires lors d'une écoute audio de la parole⁴.

Ces études ne permettent pas d'affirmer que l'activation motrice est nécessaire à la perception de la parole, mais nous forcent à repenser aux mécanismes de perception de la parole afin d'y intégrer le rôle potentiel des centres moteurs et somatosensoriels. De plus, que l'activation des zones motrices (aire de Broca et cortex prémoteur) soit reliée aux zones de perception auditives permet la construction d'une interface de perception multimodale de la parole. Ces découvertes ont un impact sur la façon de réfléchir à des problématiques telles que la nôtre puisqu'elles proposent que la parole soit perçue par différents systèmes sensoriels plutôt que par l'audition seule.

⁴ Un effet facilitateur sur la reconnaissance phonologique du traitement de compréhension de haut niveau pourrait aussi contribuer à cette activation.

1.4 Théories de la perception de la parole

Passons maintenant en revue quelques théories de perception de la parole. Nous avons déjà vu que, d'une part, plusieurs configurations du conduit vocal peuvent être associées à la production d'un même son de parole, ou unité phonémique, c'est ce qu'on appelle l'équivalence motrice. D'autre part, un même son de parole peut avoir des propriétés acoustiques extrêmement variables. De nombreux chercheurs se sont intéressés à ce qui pouvait faire en sorte que la parole soit, malgré tout, perçue correctement. Les théories de la perception sont fondées sur le constat commun de la variabilité et tentent d'éclaircir la nature de ce qui est stable dans la parole. Nous présenterons d'abord deux courants opposés: d'un côté, les théories motrices proposent que l'invariant se situe au niveau articulaire; d'un autre côté, les théories auditives stipulent que l'invariant est de nature acoustique. Par la suite, nous présenterons deux théories qui considèrent l'objet communicatif de la parole, celle de l'interaction locuteur-auditeur et celle de la perception pour le contrôle de l'action.

1.4.1 Théories motrices

Lieberman et al. (1985) et Fowler (1996) proposent que l'invariance est de nature motrice. Malgré ce point commun, la théorie motrice (Lieberman et Mattingly, 1985) et la théorie réaliste directe (Fowler, 1996) possèdent des traits distincts notables. D'un côté, Liberman rejette l'existence d'un invariant articulaire mesurable alors que Fowler suppose des cibles articulaires quantifiables. De plus, alors que la théorie motrice suppose qu'il existe un module cognitif particulier au traitement de la parole, la théorie réaliste directe propose que les mécanismes reliés à la parole soient imbriqués dans le système perceptuel global. Ce qui réunit les deux écoles est la croyance selon laquelle l'invariance est de nature motrice, c'est-à-dire qu'elle repose sur les représentations motrices qui commandent l'activation des muscles (Lieberman et Mattingly, 1985). Ce postulat implique qu'il y ait un lien étroit entre la production et la perception de la parole, on parlerait donc d'invariance relative et non absolue. Ceci soulève un problème majeur pour les tenants de la théorie motrice, puisque les gestes articulaires du locuteur varient, il s'agit de comprendre comment les informations pertinentes sont récupérées par l'auditeur. C'est le module spécifique à la parole qui infère les gestes articulaires à partir du stimulus acoustique, un seul son doit correspondre à une seule cible articulaire afin que l'information soit accessible. Pour les tenants de la théorie directe

(Fowler, 1986), aucun processus inférentiel n'est en revanche nécessaire, l'auditeur percevant directement les formes du conduit vocal lors de la perception.

1.4.2 Théories auditives

Pour les tenants de la théorie acoustique, l'invariance repose sur le signal acoustique : les patrons formantiques pour les voyelles et les formes spectrales de l'explosion pour les occlusives. L'objectif global des théories acoustiques est de prouver qu'il existe une relation complexe, conditionnée par le contexte, entre le signal acoustique et la perception de la structure phonétique de la parole (Stevens et Blumstein, 1981). Les propriétés d'invariance pour les catégories phonétiques d'une langue résident dans de différentes régions de l'onde acoustique (Blumstein et Stevens, 1980 ; Stevens et Blumstein, 1981). En fait, les traits phonétiques des langues naturelles, auxquels le système de perception de la parole est sensible, sont représentés dans les patrons d'invariants acoustiques (Blumstein, 1986). Les spécificités perceptuelles des sons de la parole sont: (1) le spectre, caractérisé par une série de pics rapprochés; (2) les variations d'amplitude; (3) les changements à court terme dans le spectrogramme. Ces propriétés reflètent l'organisation hautement structurée des sons de la parole qui permet une correspondance entre les sons malgré les différences interindividuelles de production, le contexte phonétique et la langue dans laquelle prennent place les sons. En ce qui concerne précisément la perception des voyelles, Diehl (Diehl, 2000) démontre qu'il est impossible d'expliquer la variance de toutes les catégories vocaliques avec un seul facteur. Néanmoins, les auditeurs partitionnent les espaces vocaliques le long de lignes correspondant à des frontières linéaires assez simples des fréquences sur une échelle perceptive (i.e. Bark). Cette relation non-linéaire entre les sons et leur représentation phonétique dans l'esprit des locuteurs est bien expliquée par Stevens (1989). Il constate que de petits changements articulatoires peuvent produire de grands changements acoustiques et, inversement, il y a des intervalles où les paramètres acoustiques sont moins sensibles aux changements articulatoires. La figure 1.12 illustre la relation entre les paramètres acoustiques(y) et articulatoires(x). Trois zones sont identifiées (I, II et III), la zone de changement de catégorie est représentée par II, où lors d'un changement articulatoire minime, la catégorie phonétique change. Enfin, le contexte jouerait un rôle secondaire en perception

de la parole, il procure des indices secondaires davantage utilisés dans le traitement *online*, quand les propriétés primaires (acoustiques) sont masquées par le bruit ou sont manquantes.

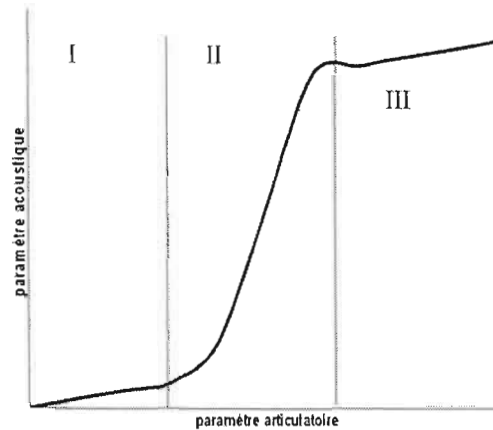


Figure 1.12 Schématisation d'une relation changeante entre un paramètre acoustique et un paramètre articulaire (adapté de Stevens, 1989).

1.4.3 Théories de l'interaction locuteur- auditeur

D'autres modèles proposent que la communication motive la variabilité afin de permettre un échange entre locuteur et auditeur. Dans les tentatives de définir l'invariance phonétique en termes de constances physiques absolues, on a eu tendance à perdre de vue les théories qui reconnaissent la variabilité du signal acoustique comme essentiellement systématique et étant une conséquence adaptative de la mutualité de l'information échangée par l'interaction locuteur-auditeur. Selon la théorie de la variabilité adaptative de Lindblom (Lindblom, 1987), le problème de l'invariance n'est pas phonétique parce-que l'invariance ultime peut être définie seulement au niveau de la compréhension de l'auditeur. L'auteur défend la primauté du signal sonore aux dépens de l'articulaire en ce qui concerne la perception de la parole. Pour se distinguer des théories auditives, il différencie le traitement auditif, c'est-à-dire la constance perceptuelle des qualités des voyelles, du traitement acoustique, c'est-à-dire les qualités spectrales des voyelles. Dans sa recherche d'une théorie plus générale tenant compte de l'aspect naturel de la communication, il explique que deux forces interagissent à court terme, la plasticité (de l'auditeur) et l'économie (simplification du locuteur), pour générer un signal riche ou pauvre en informations physiques explicites. La figure 1.13 schématise l'idée de Lindblom.

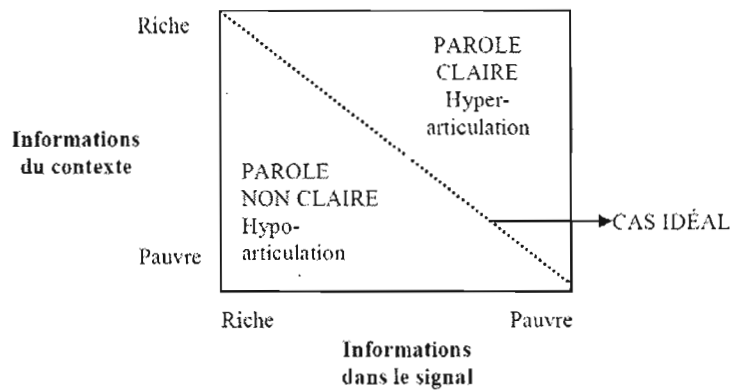


Figure 1.13 Domaines d'hypo-articulation et d'hyperarticulation en parole selon le contexte (adapté de Lindblom, 1987)

La variation est donc inhérente au processus langagier, l'invariant physique n'existe pas, et c'est le comportement adaptatif qui en est la cause. Dans une interaction locuteur-auditeur, chacun des partis tend à adapter sa production et sa perception afin d'assurer l'atteinte d'une cible ayant suffisamment de pouvoir discriminant (le « cas idéal ») (Lindblom, 1990) pour assurer le succès de la communication.

1.4.4 La théorie de la perception pour le contrôle de l'action

Schwartz (Schwartz *et al.*, 2002), nous présente son point de vue concernant l'invariabilité dans la perception de la parole. Selon sa théorie de la perception pour le contrôle de l'action, les représentations mentales de la parole sont de nature à la fois acoustique, visuelle, articulatoire et somatosensorielle (*i.e.* multisensorielle). Cette intégration sensorielle lors de la perception de la parole modifie la façon de produire des sons : « *...our approach is centered on the co-structuring of the perception and action systems in relation with phonology* » (Schwartz *et al.*, 2002). Cependant, l'articulatoire n'aurait pas la même importance que l'acoustique, une situation où un locuteur adopterait une stratégie articulatoire au détriment de l'output acoustique n'a jamais été observée (Perrier, 2005). La parole ayant pour objectif d'être perçue, l'acoustique, qui est la partie la plus saillante de la parole semble occuper un rôle primordial alors que l'articulatoire un rôle plutôt secondaire. « It is common sense to say that speech is produced to be perceived and that the relevance of

physical characteristics of speech should only be assessed from this perspective » (Perrier, 2005). Schwartz explique que les représentations de la production de la parole sont associées aux unités phonétiques par des régions corticales spécifiques liées au traitement des informations motrices, orosensorielles et acoustiques.

1.5 Conclusion

Ce chapitre s'est attardé à la description anatomique et fonctionnelle de la production et de la perception de la parole. Nous avons ainsi pu constater que, d'une part, le système de production requiert le contrôle précis d'un appareillage articulaire complexe et recrute de multiples aires du cortex cérébral. Les théories de la perception de la parole nous ont permis d'explorer les formes que peuvent prendre l'information de la parole dans le cerveau. Aussi, nous savons maintenant que la perception de la parole repose sur des informations multiples : auditives, visuelles et somatiques. Enfin, dans le cadre de cette recherche sur le rôle du feedback auditif, nous sommes maintenant prêts à nous demander quelle est l'impact d'une privation sensorielle auditive sur le système de gestion de la parole. Nous répondrons à cette question dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II

LE RÔLE DU *FEEDBACK* AUDITIF : L'APPORT DES ÉTUDES DE

PERTURBATION DE LA PAROLE

Ce chapitre a pour objectif de décrire le rôle particulier du *feedback* auditif, qui consiste en la rétroaction auditive de notre propre parole, dans les mécanismes de perception et de production de la parole. Pour ce faire, nous avons choisi d'étudier la parole de sourds postlinguaux. Comme il sera démontré dans ce chapitre, la parole demeure intelligible même après plusieurs années de privation auditive, quoiqu'il existe de nombreuses différences entre la parole de sourds et celle d'entendants. Entre autres, des études ont prouvé que les locuteurs sourds adaptent leur parole de façon différente, et ce sont les études de perturbation de la parole qui permettent de mettre à jour ces particularités. Enfin, nous verrons que les processus d'adaptation en parole sont influencés par l'input auditif mais aussi par celui provenant des autres modalités sensorielles.

2.1 Le rôle du *feedback* auditif

En 1911, Lombard (Lombard, 1911) a démontré que, dans des conditions bruyantes, les locuteurs haussent la voix. Par la suite, on a démontré que l'écoute d'un *feedback* différé bouleverse la parole (Lee, 1950 ; Yates, 1963). Si on modifie le *feedback* auditif lors de la

production de voyelles, les locuteurs compensent au *feedback* auditif altéré (Gracco *et al.*, 1995 ; Houde et Jordan, 2002 ; Purcell et Munhall, 2006).

2.1.1 L'impact de la perte auditive sur la parole

Les informations auditives servent d'abord à bâtir les représentations de la parole lors de l'acquisition. L'apport de la modalité auditive au développement normal des composantes segmentales et suprasegmentales de la parole n'est plus à prouver (Waldstein, 1990). Si un enfant naît sourd ou perd l'usage de l'ouïe en bas âge, le développement de la parole est inévitablement compromis. La parole de personnes ayant appris à parler avant de perdre l'audition demeure cependant intelligible pendant des années. Malgré ceci, on observe de nombreuses particularités dans la parole de sourds.

Dans leur revue de littérature, Lane et Tranel (1971) rapportent les paramètres généralement affectés suite à une privation auditive majeure prolongée. La détérioration du contrôle laryngé, qui se manifeste dans les éléments suprasegmentaux, est la caractéristique la plus saillante (Lane et Webster, 1991). On en observe l'impact sur la qualité de la voix, le voisement, l'aspiration, la fréquence fondamentale, le rythme et l'accentuation. D'un autre côté, sur le plan segmental, le *feedback* auditif sert, suite au développement moteur, à calibrer les mécaniques articulatoires (Lane et Tranel, 1971). Cette calibration se produit de deux façons : (1) le locuteur gère la relation entre ses intentions phonétiques et l'output acoustique, et (2) le locuteur détecte les différences entre sa parole et celle des autres. La première calibration est active principalement lorsque les locuteurs sont amenés à parler dans des conditions adverses. On souligne aussi que dans le cas où le *feedback* auditif est absent, il devient impossible pour les locuteurs d'ajuster certains composants pauvres en *feedback* alternatifs (Stevens, 1989). Par exemple, la fréquence fondamentale est un paramètre pauvre en *feedback* alternatif puisqu'on peut seulement l'ajuster avec les informations auditives.

D'un autre côté, le contrôle des articulateurs supraglottiques repose également sur des informations motrices et proprioceptives en plus d'auditives, il s'agit de composants riches en *feedback* alternatifs. Les paramètres affectés sont aussi régis par les forces d'économie et de clarté (Lindblom, 1987). Notamment, l'ajustement des articulateurs supraglottiques nécessite une grande précision puisqu'une légère modification influence l'intelligibilité, tandis que le rythme (F0, intonation, accentuation) a un plus grand degré de liberté (Perkell et Cohen,

1989)⁵. Enfin, une réduction des distances euclidiennes acoustiques a été observée chez des personnes devenues sourdes et il est démontré que l'amélioration des capacités perceptives, à l'aide d'un appareil auditif, est corrélée avec l'amélioration du contraste vocalique (Perkell, 2007 ; Perkell *et al.*, 2007).

Sur le plan de la perception, il serait quand même surprenant qu'exactement les mêmes indices soient utilisés pour reconnaître les voyelles chez les entendants que chez les sourds ayant un implant. En fait, tant chez les sourds que les entendants, il a été démontré que la reconnaissance des voyelles de l'anglais repose sur les transitions formantiques et la durée (Iverson, Smith et Evans, 2006). Malgré ceci, l'information sensorielle qui est donnée par l'acoustique et par l'audition électronique diffère substantiellement (Iverson, Smith et Evans, 2006). On sait que les sourds implantés réorganisent leur espace vocalique environ deux ans après implantation (Svirsky *et al.*, 2004). Par contre, même après cette réorganisation, la position des voyelles dans l'espace F1-F2 peut être différente que celle des individus ayant une audition normale et leurs catégories se chevauchent considérablement (Harnsberger *et al.*, 2001). On souligne entre autres que les locuteurs sourds auraient des cibles formantiques anormales pour F1 dans leurs représentations catégorielles sous-jacentes ou peut-être une résolution spectrale déficiente dans cette gamme de fréquence (Iverson, Smith et Evans, 2006 ; Svirsky *et al.*, 2004).

2.1.2 Le rôle du *feedback* auditif dans le modèle DIVA

La théorie du contrôle moteur par buts auditifs (Perkell, 2007 ; Perkell *et al.*, 2000 ; Perkell *et al.*, 1997 ; Perkell *et al.*, 1995), basée sur le modèle DIVA (Guenther, 2001 ; Guenther, 2002 ; Guenther, Ghosh et Tourville, 2006 ; Guenther et Perkell, 2004), décrit en détail les rôles du *feedback* auditif.

Selon cette théorie, la production d'une suite de sons implique l'activation de correspondances entre la cible acoustique et les programmes articulatoires de la parole. D'un côté, il y a les buts auditifs qui correspondent aux attentes auditives des mouvements produits

⁵ Les degrés de liberté varient aussi selon la densité de l'espace vocalique des langues (Perkell, J., M. Polak, T. Balkany, J. Vick, H. Lane, E. Stockmann, M. Tiede et M. Zandipour. 2002. «Language-specific, hearing-related changes in vowel spaces: A study of English- and Spanish-speaking cochlear implant users». *Journal Acoustical Society of America*. vol. 112, no 5.)

(i.e. les attentes phonémiques) qui correspondent physiologiquement aux régions multidimensionnelles des zones temporelles auditives et sont considérés dans le sous-système de *feedback*. D'un autre côté, les projections *feedforward* sont des commandes motrices vers les articulateurs. Avec l'évolution des mouvements et la génération des sons, le *feedback* est comparé au but auditif et, s'il y a inéquation, une erreur est créée et permet la correction des commandes motrices. Ces commandes basées sur la correction par le *feedback* auditif sont aussi utilisées pour aider à raffiner les commandes *feedforward* pour les futurs mouvements. Avec l'expérience qui résulte du raffinement du *feedforward*, le contrôle devient presque entièrement basé sur les commandes *feedforward*. Alors que l'enfant intègre et apprend les sons de sa langue, s'ajoute à ce système les informations tactiles et proprioceptives. Les patrons créés s'incorporent en buts somatosensoriels qui sont utilisés en comparaison avec le *feedback* somatosensoriel pour corriger les erreurs faisant partie du sous-système de contrôle par le *feedback*. Finalement, ces informations sont récupérées par les commandes motrices. La figure 2.1 résume le fonctionnement de ce modèle.

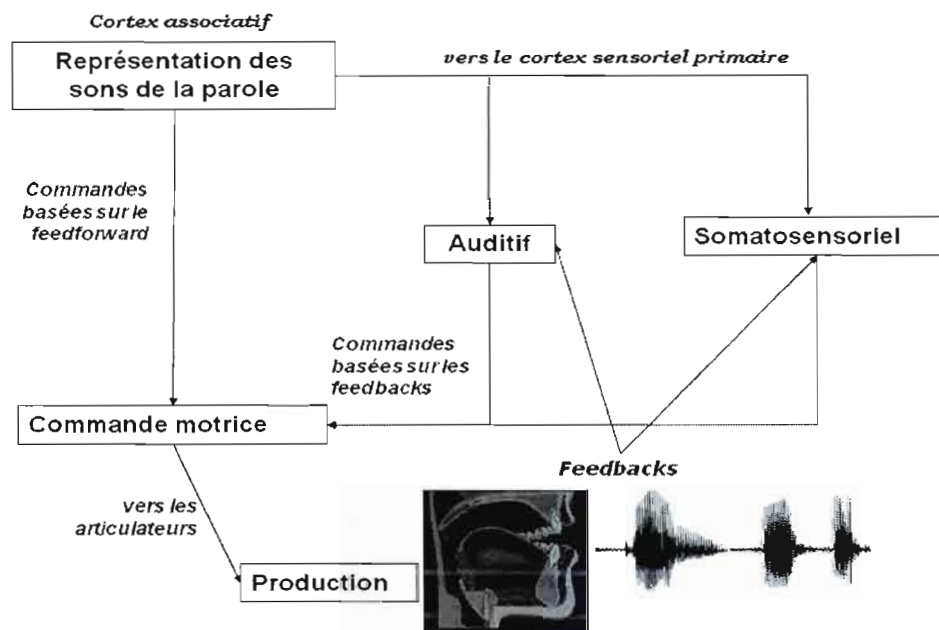


Figure 2.1 Schéma du modèle d'acquisition et de production de la parole DIVA (adapté de Guenther, 2006).

Le modèle interne illustré ci-haut utilise les afférences sensorielles pour enrichir, raffiner et mettre à jour les mécanismes de contrôle du *feedforward*. En collaboration avec les informations sensorimotrices, la rétroaction auditive détient un rôle central dans le maintien de l'intelligibilité et de l'atteinte de cible : il sert à développer et maintenir l'acuité perceptuelle et, sur le plan de la production, le contraste entre les différents phonèmes.

Pour investiguer le rôle du *feedback* auditif, étudier la parole de sourds postlinguaux ayant un implant cochléaire offre l'avantage important de pouvoir faire varier l'état de la rétroaction auditive. De plus, lorsque l'implant est éteint, la transmission du son par conduction osseuse est réduite au minimum (*cf.* section 1.2.1). Avec l'usage de l'implant, les locuteurs améliorent généralement leur production de voyelles en termes de contraste dans les dimensions acoustiques perceptives (Svirsky et Tobey 1991, Perkell *et al.* 1992). Malgré ceci, les sourds implantés maintiennent moins facilement le contraste en condition bruitée que les entendants (Perkell *et al.*, 2007).

« Speakers with compromised hearing (implant users in this case) habitually operate at lower levels of contrast than those with normal hearing and when confronted with environmental noise, are less able to maintain and enhance contrasts » (Perkell *et al.*, 2007, p.516).

En dépit de ces constats, on souligne que les différences segmentales sont de faible amplitude entre les voyelles produites par des sourds (implant allumé ou éteint) et celles produites par des sujets ayant une audition normale. Cette haute intelligibilité des sourds supporte difficilement un rôle crucial du *feedback* auditif dans le maintien des habiletés de la parole. L'expérience significative des locuteurs avec l'audition leur permettrait de conserver des configurations articulatoires normales et, par conséquent, de maintenir les contrastes phonologiques. Tel que mentionné précédemment, certains segments, dont les voyelles cardinales, sont plus autonomes que d'autres :

« Point vowels, on the other hand, may use quantal articulatory-to-acoustic relationships (proprioceptive and even tactile information associated with more extreme tongue and jaw positions) and thus rely less on auditory information » (Svirsky et Tobey, 1991, p.2903).

2.1.3 Liens entre la perception et la production

De nombreuses études dans ce courant ont appuyé les propositions de la théorie du contrôle moteur par buts auditifs. Un changement d'état de *feedback* auditif chez des

locuteurs entendants peut faire varier la façon de produire un son. Les travaux de Purcell et Munhall (2006) démontrent qu'en modifiant la fréquence de rétroaction du premier formant, les locuteurs modulent leur production pour atteindre leur cible perceptive. Concrètement, puisque le F1 perçu est plus bas que celui ciblé, les locuteurs augmentent le F1. La figure 2.2 illustre ce changement, les points noirs représentent ce qui est réellement produit alors que les points blancs ce que le participant entend suite à la hausse de F1.

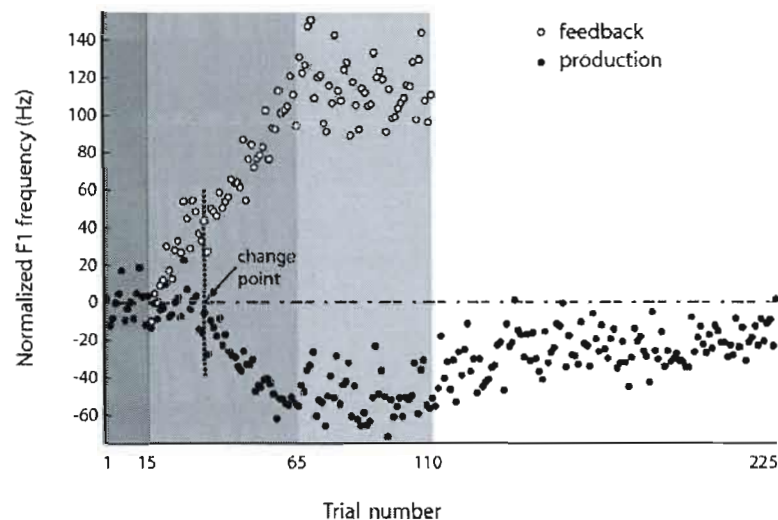


Figure 2.2 Valeurs moyennes de F1 pour la voyelle cible [ε] dont le F1 est augmenté, les essais sont représentés sur l'axe x (tiré de Purcell et Munhall, 2006)

De plus, certaines études démontrent que les habiletés de discrimination auditives individuelles influencent le degré d'adaptation à un *feedback* sensoriel altéré. Des travaux révèlent également que les personnes ayant une acuité perceptive supérieure produisent des sons plus contrastés (Villacorta, Perkell et Guenther, 2007). On rapporte que l'amplitude de la compensation à un feedback auditif altéré correspond au niveau d'acuité de chaque locuteur. Précisément, lors de la production de syllabes /CεC/, la rétroaction est modifiée, c'est-à-dire que le F1 est diminué et le sens de la compensation des locuteurs correspond à l'inversion de celui du changement formantique (Villacorta, Perkell et Guenther, 2004). Le phénomène est similaire à ce qui est observé à la Figure 2.2, mais on précise que l'ampleur de la réponse compensatoire varie en fonction des habiletés perceptives des locuteurs. Ces derniers avaient aussi participé à une expérience de discrimination auditive, ce qui a permis

aux chercheurs de séparer les participants en deux groupes : les bons et les moins bons discriminateurs (voir figure 2.3). La découverte de Villacorta, Perkell et Guenther met à jour le fait que les habiletés perceptives, au de-là des questions concernant l'apport de la rétroaction auditive, influencent la production de la parole.

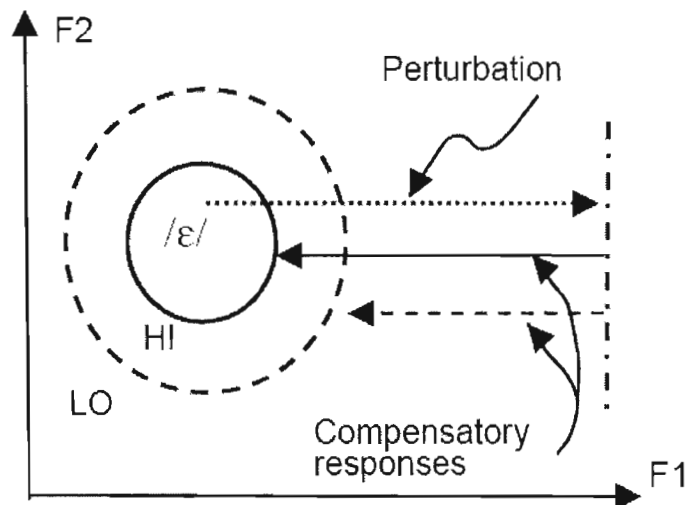


Figure 2.3 Schémas des régions cibles et des réponses compensatoires pour la voyelle [ε] chez un locuteur ayant une haute acuité (petit cercle continu) et un locuteur ayant une faible acuité (grand cercle discontinu). La perturbation de F1 est indiquée par la flèche pointillée et la réponse compensatoire par les flèches continues et discontinues (tiré de Perkell, 2007).

En somme, sachant que l'information auditive sert à raffiner les commandes motrices de la parole, si on coupe cet apport, la précision se perd. Or, ce raffinement est peu nécessaire au maintien des propriétés segmentales des voyelles en condition normale. Par contre, si on perturbe la parole, le système de production de la parole est mis à l'épreuve et requiert davantage d'informations sensorielles pour s'adapter. La prochaine section s'intéressera tout particulièrement à l'apport des perturbations de la parole aux connaissances concernant le *feedback* auditif.

2.2 Les perturbations

Le rôle des perturbations est de provoquer des changements significatifs dans la production des consonnes et voyelles. Les perturbations fonctionnelles altèrent le mouvement et/ou le positionnement des articulateurs de la parole sans en modifier la structure (*i.e.* la forme géométrique), la plaque occlusale est un bon exemple. Il s'agit d'un bloc tenu entre les dents qui a pour effet de fixer la mâchoire. La plaque occlusale affecte principalement la production des voyelles puisqu'elle provoque un changement de configuration de la cavité orale et, par conséquent, des modifications dans les patrons formantiques. Plusieurs chercheurs ont observé une compensation immédiate et croient que l'information sensorielle en général contribue à ce comportement adaptatif. Il existe aussi les perturbations structurales, qui, elles, modifient la géométrie du conduit vocal et affectent tous les articulateurs. Si on les considère dans le cadre de la théorie du contrôle moteur par buts auditifs, ces perturbations induisent des erreurs de production de la parole et une période d'adaptation assez longue est nécessaire afin de commencer à observer un comportement compensatoire adéquat et efficace.

2.2.1 Les expériences avec une plaque occlusale

Chez les personnes ayant une audition normale, il semble que l'apport de la rétroaction auditive n'est pas primordial pour compenser à la fixation de la mâchoire avec une plaque occlusale. Les valeurs formantiques, prises à la première impulsion glottique, varient très peu d'une condition à l'autre, ce qui permet d'exclure une régulation auditive à court terme (Baum, McFarland et Diab, 1996 ; Flege, Fletcher et Homiedan, 1988 ; Lindblom et Lubker, 1979 ; Lindblom et Sundberg, 1971). On remarque aussi que la compensation, quoiqu'incomplète, est quasi-immédiate (McFarland et Baum, 1995).

En faisant varier l'état de *feedback* auditif chez des sourds, Tye et al. (1983) n'a obtenu aucun effet systématique sur l'intelligibilité des voyelles avec la plaque occlusale. Malgré la variabilité de formes et de positions linguales observées, les locuteurs semblent avoir préservé les aires de constriction maximales dans toutes les conditions. Les représentations auditives ne seraient donc pas nécessaires pour accomplir les configurations articulatoires associées aux voyelles /i/, /ae/ et /u/. Ces découvertes sont interprétées en regard du courant

considérant l'intégration sensorimotrice et du contrôle moteur avec une référence particulière aux théories basées sur une cible (Lindblom et Lubker, 1979 ; Tye, Zimmermann et Kelso, 1983 ; Zimmermann et Rettaliata, 1981). On considère que c'est la proprioception qui établit le cadre de référence pour les commandes motrices, même si d'autres études démontrent l'inverse (Kelso et Tuller, 1983), certains auteurs défendent que l'information tactile afférente constitue l'assise du comportement compensatoire (Hoole, 1987 ; Perkell, 1979).

Dans une étude plus récente, l'absence à long-terme du *feedback* auditif est associée avec une augmentation de la dispersion vocalique, cette dernière s'accroît d'autant plus en condition perturbée (Lane *et al.*, 2005). En d'autres mots, l'état auditif influence les dynamiques compensatoires, puisque sa restauration partielle, avec la prothèse auditive, fait diminuer la dispersion. Du reste, les espaces vocaliques des sujets sourds étaient toujours réduits par rapport à ceux des entendants, et ce, encore plus en condition perturbée. Une année complète de port de la prothèse a significativement fait augmenter le contraste des voyelles produites lorsque l'implant était allumé. En outre, les entendants ne se sont pas avérés être de meilleurs compensateurs, interrompre leur *feedback* auditif a eu pour effet d'augmenter leurs espaces vocaliques. Ces observations (basées sur des résultats acoustiques) confirment que les modèles de production de la parole, tel que DIVA (*cf.* par. 2.1.2), doivent assigner un rôle au *feedback* auditif (Lane *et al.*, 2005).

L'étude des conséquences de la plaque occlusale sur la production de voyelles met en évidence l'importance du *feedback* somatosensoriel dans l'adaptation articulatoire. En dépit du fait que certains travaux expliquent leurs résultats par les variations d'état de *feedback* auditif, le rôle régulateur n'est pas systématiquement mis en relief par les études avec les plaques occlusales. Dans les paragraphes suivants, les perturbations structurales nous renseigneront plus clairement sur le rôle de la rétroaction auditive.

2.2.2 Les perturbations structurales

Les perturbations structurales, en plus de modifier l'action des articulateurs, affectent la géométrie du conduit vocal et, conséquemment, sa résonance naturelle. De telles modifications provoquent des changements notables sur la parole tant sur les plans acoustique et articulatoire que perceptif. Par contre, on remarque que la compensation aux perturbations structurales s'améliore avec le temps et des processus d'apprentissages seraient

activement à l'œuvre afin de permettre cette adaptation. Ces modulations seraient guidées par l'input sensoriel. Cette section a pour objectif de décrire la nature de ces informations et la façon dont elles influencent l'adaptation de la parole.

Nous nous attarderons à plusieurs types de perturbations structurales, d'abord aux palais artificiels, ensuite aux prothèses dentaires et enfin aux tubes labiaux. Ces derniers feront l'objet d'une revue en profondeur puisqu'ils ont été utilisés pour étudier la parole des participants de la présente étude.

2.2.2.1 Les palais artificiels et les prothèses dentaires

L'étude de McFarland, Baum et Chabot (1996) évalue les capacités compensatoires de 15 locuteurs du français québécois à une perturbation structurale, le palais artificiel, lors de la production des sons [i a u] (isolés), [p t k] et [s j] (co-articulés avec les voyelles précédentes).

Aucune modification significative des voyelles n'a été observée, le palais a plutôt affecté la production de consonnes et plus particulièrement de la fricative [s]. La réalisation de cette consonne nécessite une grande précision et la modification de son lieu d'articulation constitue un obstacle majeur à l'atteinte de la cible. En plus d'avoir observé des différences acoustiques et perceptives significatives entre les consonnes perturbées et normales, les auteurs soulignent que les compensations s'améliorent avec le temps et c'est le *feedback* sensoriel et auditif qui en serait la cause.

Les résultats d'une étude de Jones et Munhall (Jones et Munhall, 2003) confirment l'hypothèse selon laquelle l'atteinte d'une cible par compensation repose principalement sur l'accès au *feedback* auditif. Pour le tester, on a perturbé la parole en modifiant la forme géométrique du conduit vocal à l'aide de prothèses dentaires allongeant (de 5 à 6 mm) les incisives supérieures. La prothèse a eu des conséquences acoustiques notables sur la production de [s] puisqu'elle allonge la cavité frontale et abaisse l'énergie de la fréquence maximum observable sur un spectrogramme. Le *feedback* sensoriel et proprioceptif associés à la production de /s/ demeure néanmoins inchangé. L'état de *feedback* auditif des locuteurs a aussi été altéré et la compensation a été davantage réussie avec un *feedback* auditif normal, ce qui démontre que les informations auditives jouent un rôle primordial. Enfin, les auteurs soulignent un effet de surcompensation (*negative aftereffect*) qui reflète l'apprentissage des

nouvelles correspondances articulatoire-acoustiques (*voir* aussi Aasland, Baum et McFarland, 2006).

De plus, la variation interindividuelle dans les processus de compensation est quasi systématique (Aasland, Baum et McFarland, 2006 ; Baum et McFarland, 2000 ; Baum, McFarland et Diab, 1996 ; Jones et Munhall, 2003) et serait due à une différence dans l'intégration du feedback sensoriel pour réapprendre les configurations articulatoires.

2.2.2.2 Les tubes labiaux

Plusieurs études (Aubin, 2006 ; Savariaux, Perrier et Orliaguet, 1995) démontrent que les tubes labiaux, en modifiant la fonction d'aire du conduit vocal, empêchent les locuteurs d'atteindre correctement certaines cibles vocaliques (entre autres [i y u]). Cette perturbation augmente l'ouverture des lèvres et perturbe l'action de la mâchoire et pour s'y adapter, il faut réajuster la position de la langue. Les compensations observées seraient dues à une certaine habileté articulatoire, celle d'évaluer, à partir des informations acoustiques, les corrélats articulatoires associés. Ce constat a été fait suite à l'observation d'une grande variabilité intersujet en ce qui concerne les stratégies articulatoires adoptées lors d'une perturbation similaire (Savariaux, Perrier et Orliaguet, 1995). Certains locuteurs possèdent cette habileté et d'autres pas. Globalement, les résultats obtenus appuient les propositions de Schwartz et Perkell selon lesquelles les cibles sont de nature articulatoire-acoustiques en lien avec un but perceptif.

Malgré la grande variabilité dans les compensations observées, dans son mémoire, Aubin (2006) note que certaines stratégies optimales sont observées. En ce qui concerne la voyelle [i], un abaissement et un avancement du corps de la langue semble être ce qui permet le mieux de pallier l'allongement de la cavité labiale. Pour la voyelle [y], les locuteurs qui ont obtenu un meilleur score perceptif ont adopté comme stratégie de reculer la langue et de déplacer ou de maintenir le lieu de constriction sur le plan horizontal. Enfin, le phonème [u] a été correctement produit avec un tube labial lorsque les locuteurs ont reculé la position de la courbure de la langue. Pour ce son, l'augmentation de F0 serait un facteur crucial. Des tests de perception sur les voyelles révèlent que, malgré une compensation partielle, les segments peuvent être aisément reconnus si la F0 est suffisamment modulée. Autrement dit, ce

processus s'ajoute aux compensations articulatoires et permet aux locuteurs d'atteindre des cibles vocaliques de qualité acceptable en condition perturbée.

Dans l'étude de Savariaux et al. (1995), on perturbe la production de la voyelle [u] en introduisant un tube labial de 2 cm de diamètre entre les lèvres de 11 locuteurs français. Chaque voyelle a été répétée 19 fois afin d'observer si l'entraînement pouvait provoquer un apprentissage. Des images ciné radiographiques (coupe sagittale) de la cavité orale ont été captées et trois principaux comportements compensatoires ont été observés: (1) une restructuration complète de la configuration articulatoire produisant l'effet compensatoire adéquat sur un plan F1-F2; (2) une modification de la configuration articulatoire afin d'atteindre l'objectif d'un [u], soit une compensation partielle adéquate; (3) aucun changement articulatoire pertinent visant à rétablir la production d'un [u] sur le plan F1-F2. Chez les locuteurs ayant modifié leur articulation, on note une corrélation négative entre l'arrondissement des lèvres et l'élévation de la langue, cela correspond à une stratégie catégorisée dans le phénomène d'équivalence motrice (Perkell *et al.*, 1993). De plus, tous les locuteurs ont généralement tendance à restreindre les mouvements linguaux dans une zone de constriction précise. Ce constat porte à croire que des contraintes articulatoires dictent la réalisation des compensations (Boë, Perrier et Bailly, 1992). Malgré qu'aucun des locuteurs n'a réussi, lors d'un premier essai, à compenser totalement, une majorité, 6 locuteurs sur 11, a choisi de déplacer le lieu de constriction de la langue vers l'arrière. Sur le plan acoustique, les résultats obtenus supportent largement l'hypothèse que, dans tous les cas, les manœuvres compensatoires sont élaborées afin de générer un patron formantique sur un plan F1-F2 le plus près possible d'un patron régulier pour la voyelle cible.

Afin d'en connaître davantage sur les qualités perceptives des voyelles produites, l'équipe de recherche a mené une deuxième série d'expérimentations qui nous apprend que la production de la parole est clairement guidée par les exigences perceptives et les locuteurs en ont une bonne représentation bien qu'ils ne soient pas tous en mesure d'atteindre ces objectifs en condition perturbée (Savariaux *et al.*, 1999). Les chercheurs voulaient également observer les stratégies adoptées par les locuteurs pour atteindre les voyelles ciblées et comprendre comment les exigences perceptives sont utilisées par les locuteurs pour compenser lors d'une perturbation.

Le but perceptif de [u] est principalement associé au contrôle de deux paramètres, qui doivent être suffisamment bas : F1, qui assure le trait de hauteur (permet opposition avec [o]); F2, qui assure le trait palato-vélaire. La fréquence fondamentale (F0) ne semble pas contribuer significativement à la perception du trait de hauteur, quoiqu'elle participe à la normalisation de F2. Aussi, le paramètre auditif $((F2-F0)+F1/2)$ assure la réalisation du trait grave classiquement utilisé pour décrire la voyelle [u] dans toutes les langues du monde (Jakobson, Gunnar et Morris, 1967). L'étude de Savariaux *et al.* confirme que le trait grave est un excellent corrélat perceptif de la voyelle [u]. Un F3 trop élevé pourrait également jouer un rôle marginal dans la dégradation de la qualité du [u].

Pour ce qui est des stratégies d'adaptation, les auteurs concluent que de reproduire le patron F1/F2 normal ne conduit pas systématiquement à une compensation sur le plan perceptif. Un déplacement prononcé de la langue vers l'arrière n'est pas une stratégie compensatoire parfaite, les locuteurs conservent cependant la position palato-vélaire. Bref, cette étude confirme les hypothèses de Savariaux et al. (1995) selon laquelle la production de la parole comporte des objectifs intrinsèquement perceptifs et les locuteurs en ont une représentation claire. D'autre part, il semble qu'une cible perceptive articulatoire existe et collabore avec les représentations auditives lors de tâches compensatoires.

Pour conclure, nous avons vu que le *feedback* auditif joue un rôle pour compenser aux perturbations structurales, il sert à réajuster les paramètres acoustiques faisant partie intégrante de la cible perceptive des phonèmes. L'atteinte de ce but repose sur des facteurs acoustiques et articulatoires. Sachant que l'objectif premier des compensations est de combler des exigences perceptives, ces études supportent largement l'idée que les systèmes de perception et de production de la parole s'influencent mutuellement dans un réseau interactif et intégré.

2.3 Les autres types de *feedbacks*

Les études de perturbation nous ont démontré que le *feedback* auditif joue un rôle important pour compenser aux perturbations structurales. Néanmoins, la stabilité de la parole avec les perturbations structurales et la variabilité observée dans les stratégies compensatoires nous forcent à considérer les autres *feedbacks* et, entre autres, le sensorimoteur. Houde et

Jordan (1998; 2002) démontrent que les locuteurs adaptent leur parole suite à la modification du *feedback* auditif, mais aussi, ils expliquent que si les locuteurs ont maintenu leurs stratégies en condition bruitée, la tâche motrice est certainement codée sous forme sensorielle. Bref, l'adaptation reposerait aussi sur l'apprentissage sensorimoteur effectué avec l'usage de la parole (Houde et Jordan, 1998, 2002). L'inverse est aussi possible, la production influence la perception, la parole est donc gérée par un système reposant sur des interactions multimodales.

2.3.1 Les modèles multisensoriels de perception de la parole

Les modèles de Perkell (*voir* sect. 2.1.2) et de Schwartz (*voir* sect. 1.4.4) postulent que la perception et la production de la parole sont liées, par contre, concrètement, leurs recherches se sont concentrées sur des analyses articulatoires et acoustiques. La question de la corrélation entre les capacités de discrimination auditive et d'identification des sons a été largement étudiée et ce, encore plus chez des populations ayant un handicap auditif. Aussi, les chercheurs qui s'intéressent à l'adaptation de la parole se sont attardé davantage à la flexibilité des processus moteurs pour expliquer leurs résultats. Les modifications des représentations sensorielles résultant du processus d'adaptation n'ont été que faiblement considérées. Pourtant, les découvertes en neurosciences (*cf.* sect. 1.3) ont dévoilé de nouvelles preuves concernant les interactions bidirectionnelles entre les centres moteurs et sensoriels de la parole et les zones cérébrales responsables de la perception des sons langagiers.

2.3.1.1 Théories basées sur les voies ventrales et dorsales

Plusieurs modèles supposent qu'il existe un lien étroit entre les mécanismes de perception et de production de la parole. Que les liens entre les mécanismes articulatoires et perceptifs dérivent des liens action-perception largement documentés (Aboitiz et Garcia, 1997 ; Aboitiz *et al.*, 2006 ; Arbib, 2005 ; Hickok et Poeppel, 2004 ; Pulvermuller *et al.*, 2005 ; Rizzolatti et Craighero, 2004) constitue le postulat fondamental de ces théories.

Le modèle de Hickok et Poeppel (Hickok et Poeppel, 2004, 2007) s'inspire des connaissances anatomiques fonctionnelles de la vision, c'est-à-dire la distinction entre les

voies ventrale et dorsale⁶. Ces deux voies ont des projections bidirectionnelles : la ventrale projette dans le cortex temporal inférieur sert d'interface entre les représentations acoustiques de la parole (gyrus supérieur temporal) et des représentations conceptuelles largement distribuées (gyrus temporal inférieur) tandis que la voie dorsale implique la région postérieure du gyrus temporal supérieur, la jonction voisine pariéto-temporale et projette vers les régions frontales motrices. Ce réseau permet le développement et le maintien de la parité entre les représentations auditives et motrices de la parole. La boucle sensorimotrice de la voie dorsale constitue le substrat anatomique fonctionnel de la mémoire verbale de travail (Baddeley, 2003), en ce qui nous concerne, il s'agit de l'habileté d'utiliser les processus articulatoires afin de conserver actives les représentations acoustiques. La figure 2.4 illustre ce modèle.

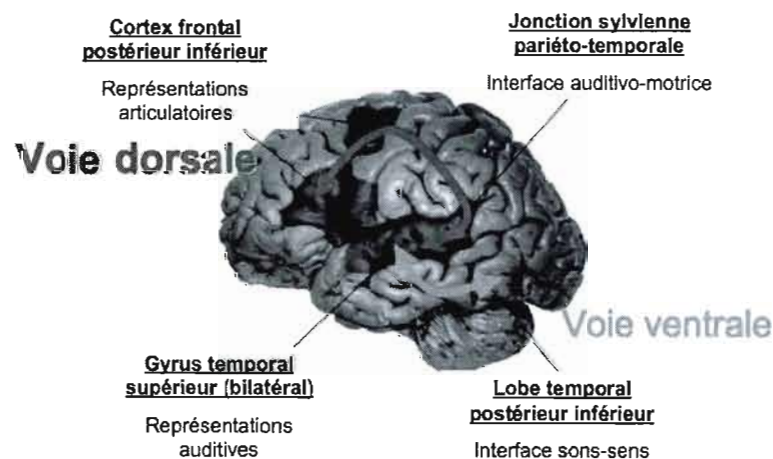


Figure 2.4 Modèle neurobiologique (adapté de Hickok et Poeppel, 2004).

⁶ La voie ventrale, projetant vers le lobe temporal inférieur, est responsable de l'identification de l'objet. D'un autre côté, la voie dorsale, vers le lobe pariétal, permet l'intégration des informations visuo-motrices et permet à l'information visuelle d'interagir avec les systèmes moteurs effecteurs qui agissent sur l'input visuel (Rizzolatti, Fogassi et Gallese, 1997).

2.3.1.2 Théories des représentations multisensorielles

D'autre part, Skipper (Skipper *et al.*, 2007a ; Skipper, Nusbaum et Small, 2005, 2006 ; Skipper *et al.*, 2007b) s'intéresse aux représentations multi-sensorielles⁷ qui participent à la production et la perception de la parole en tant que composants d'un large réseau neural au travers de projections de type *feedforward* et *feedback*. Ce qui distingue son modèle des autres est qu'il explicite la question de la multimodalité et va au de-là l'affirmation que le système miroir est associé à la production et la perception de la parole en spécifiant les mécanismes par lesquels le système moteur gère la perception de la parole. L'input multisensoriel interagit avec le *feedback* du système moteur impliqué dans la production de la parole. Dans la partie postérieure du GTS/STS de l'hémisphère gauche (lobe temporal gauche), les représentations multisensorielles précoces dérivées de l'interprétation sonore (copie du signal efférent) permettent l'élaboration d'hypothèses à propos des phonèmes perçus. Ces dernières sont alors transmises à la région operculaire du gyrus frontal inférieur qui en retour va générer de possibles actes moteurs correspondants. Le but moteur inféré est alors envoyé vers la commande motrice qui peut générer le mouvement observé selon une organisation somatotopique (la zone orofaciale du prémoteur ventral et du cortex moteur primaire). Les commandes motrices activées prédisent ainsi les conséquences acoustiques et somatosensorielles de l'exécution articulatoire à travers la copie efférente qui se dirige à la fois vers le STS/STG et les cortex somatosensoriels (SI/SII) (figure 2.5). Ces informations sensorielles générées permettent ainsi de contraindre l'interprétation phonétique de l'information sensorielle entrante par des mécanismes de comparaison entre ce qui est perçu et les représentations.

⁷ Dans les aires périssylviennes et extrasylviennes.

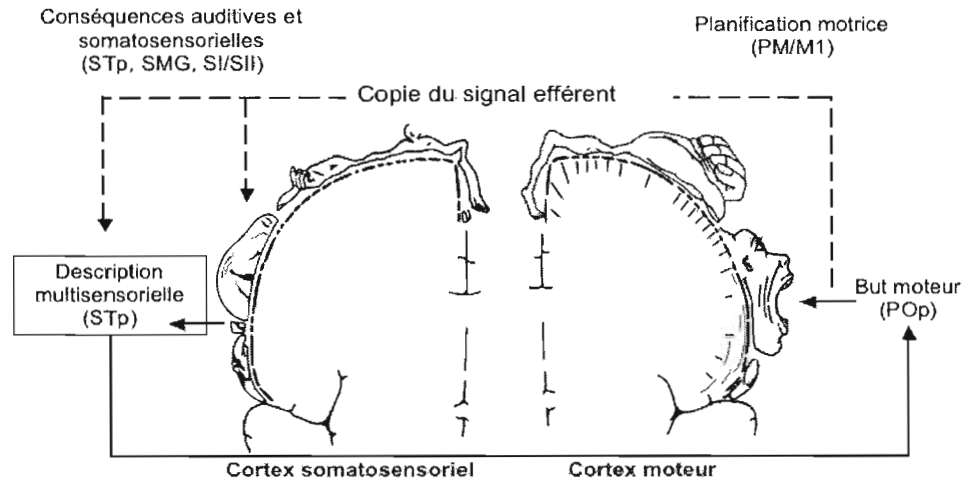


Figure 2.5 Modèle d'activation somatotopique des cortex moteurs et sensoriels (adapté de Skipper *et al.* 2007).

2.3.2 Le *feedback* somatosensoriel

Malgré que très peu d'études s'y soient attardées, nous pouvons déduire des théories explorées que les modifications des représentations motrices affecteront la perception de la parole. L'étude de Meister (Meister *et al.*, 2007) obtient des résultats significatifs à une tâche de discrimination syllabique suite à la stimulation magnétique transcranienne de l'aire prémotrice ventrale supérieure. Il est cependant à noter que les différences obtenues entre la condition de base et celle après stimulation du cortex prémoteur sont de faible amplitude (8%).

Pour mesurer l'apport du *feedback* sensoriel sur les mécaniques articulaires, les chercheurs doivent être en mesure de modifier la proprioception sans affecter le *feedback* auditif. Isoler la rétroaction sensorielle, c'est précisément ce que Nasir et Ostry (2008) ont fait à l'aide d'un robot ayant pour tâche d'altérer les trajectoires de la mâchoire (cf. figure 2.6).

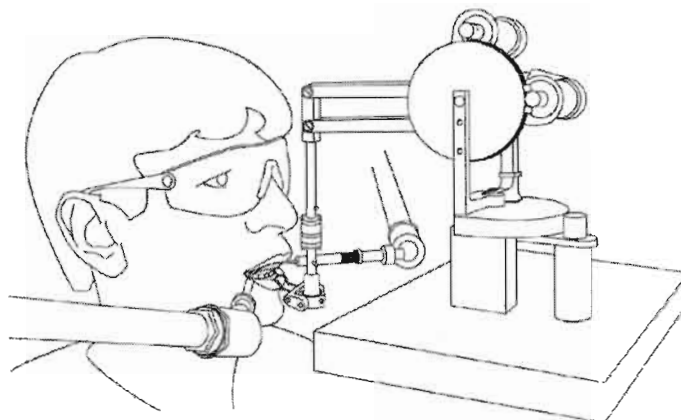


Figure 2.6 L'outil robotisé appliquant une charge dépendante de la vélocité à la mâchoire (tiré de Nasir et Ostry, 2008).

Leurs résultats démontrent que des locuteurs sourds ayant un implant cochléaire ont été en mesure d'adapter leur planification motrice pour compenser à la charge imposée par le robot, et ce, même avec leur implant éteint. De plus, les locuteurs du groupe contrôle, qui ont une audition normale, n'ont pas été de meilleurs compensateurs que les sourds, ce qui exclut totalement l'impact de la rétroaction auditive sur la compensation articulatoire. Que les locuteurs sourds aient été en mesure de corriger leur articulation en ayant uniquement accès au *feedback* somatosensoriel constitue une solide preuve de l'implication sensorielle dans la correction des mouvements articulatoires et, à une plus large échelle, dans les mécanismes de production de la parole (Nasir et Ostry, 2008).

Ayant démontré que le *feedback* sensoriel et plus globalement l'intégration sensorimotrice a un impact sur la parole, il est juste de se demander quel est le lien exact qui unit ces composants aux informations auditives. Shiller *et al.* (2009) ont tenté de démystifier ces interactions en étudiant l'ajustement du contraste /s/-/ʃ/ suite à la modification du *feedback* auditif lors de la prononciation de mots commençant par /s/.

Cette étude a un devis permettant d'isoler ces trois variables : le *feedback* auditif, le *feedback* sensoriel et l'apprentissage moteur. À cet effet, trois groupes de participants ont été créés : *AF* dont le *feedback* auditif des sujets a été altéré lors de la répétition de mots; *UF* dont le *feedback* des sujets n'a pas été altéré lors de la répétition de mots, et; *PL* dont les sujets ne produisent pas de mots et écoutent passivement des mots dont l'acoustique est altéré

ou non. La perturbation acoustique était une diminution d'environ trois demi-tons de la fréquence centroïde de /s/, les locuteurs entendent plutôt /ʃ/. La figure 2.7 représente les changements de frontière catégorielle entre /s/ et /ʃ/ pour chaque groupe. Notamment, pour les sujets du groupe *AF*, la frontière se déplace vers la perturbation auditive en posttest, soit en direction de /ʃ/. À l'opposé, pour le groupe *UF*, le déplacement se fait vers /s/, tandis que pour le groupe d'écouteurs passifs *PL*, la frontière se déplace peu.

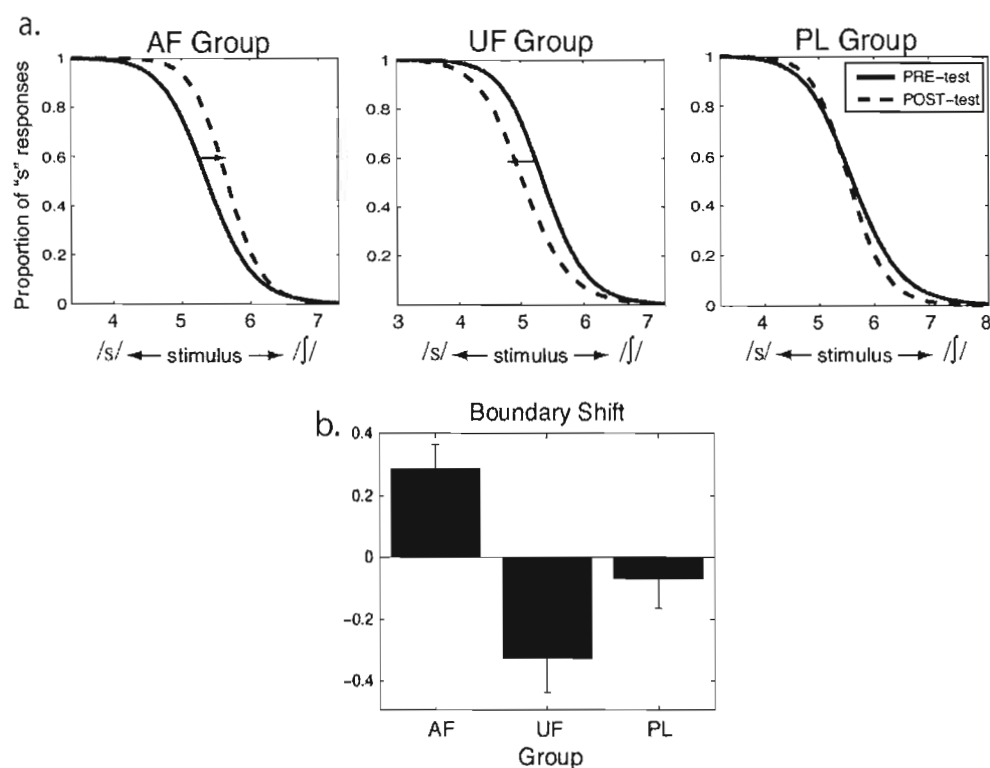


Figure 2.7 Évaluation de la perception de /s/ et /ʃ/. (a) Moyennes d'identification des consonnes, prétest (ligne continue) et posttest (ligne pointillée), basées sur la frontière de la fréquence centroïde moyenne. (b) Moyennes des déplacements catégoriels suite à la tâche de production. (tiré de Shiller *et al.*, 2009)

Les résultats suggèrent que les locuteurs ont baissé la fréquence centroïde de leur représentation du phonème /s/ afin de diminuer l'impact perceptif de la perturbation. De plus, après le retrait immédiat de la perturbation, cette modification a persisté, ce qui indique que le changement dans l'output n'est pas le résultat d'une correction *online*, mais reflète plutôt

une modulation de la planification motrice sous-jacente de /s/. Les déplacements importants des frontières catégorielles suggèrent que l'adaptation de la parole suite à l'altération du *feedback* auditif n'est pas limitée au domaine moteur. Elle implique davantage des changements de l'output moteur et des représentations auditives des sons de la parole qui agissent ensemble à réduire l'impact de la perturbation (Shiller *et al.*, 2009).

Si on compare ces résultats aux études de perturbation structurale, ces dernières sont plus complexes car elles altèrent aussi le *feedback* somatosensoriel. Il est donc impossible de savoir quelle modalité sensorielle est responsable du comportement adaptatif. La méthodologie de cette étude permet de clairement démontrer qu'il peut y avoir adaptation de la parole suivant une perturbation purement auditive d'un son consonantique.

« The results of the present study provide new behavioral evidence showing not only a link between the processes underlying speech perception and production but a functional and plastic change involving both input and output processes simultaneously (Shiller *et al.*, 2009) ».

Cette étude constitue un argument de taille en faveur de l'existence de liens entre la perception et la production de la parole.

2.4 Conclusion

Faire varier les états de *feedback* auditif permet de tester les capacités adaptatives du système de production de la parole. Les informations auditives servent à développer l'acuité perceptive et, sur le plan de la production, à maintenir le contraste entre les différents phonèmes. Les recherches menées suite aux grandes découvertes en neurosciences ont permis d'appuyer des hypothèses longuement réfléchies par les chercheurs en phonétique. Nous savons maintenant que les représentations de la parole sont constituées de nombreuses d'informations sensorielles dont les composants récepteurs (perceptifs) et effecteurs (productifs) s'influencent mutuellement. Il reste évidemment à détailler la nature de ces interactions

DEUXIÈME PARTIE

MÉTHODOLOGIE

CHAPITRE III

PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

Le recrutement des participants, le corpus utilisé et les méthodes d'analyses acoustiques et articulatoires seront détaillées dans ce chapitre. Des données acoustiques et articulatoires de la production de la voyelle /u/ et des données perceptives de la même voyelle ont été recueillies afin de mesurer l'impact de la privation auditive sur la parole. Rappelons que les objectifs de cette recherche s'articulent autour de deux pôles : la production et la perception de la voyelle /u/. Le premier a pour objectif de décrire les mouvements articulatoires, plus précisément linguaux, et la dynamique articulatoire-acoustique lors de la production de la voyelle /u/ par les deux groupes de participants et dans les conditions perturbée et normale. Le deuxième pôle permettra de décrire la perception de la voyelle /u/ et d'évaluer l'impact d'une tâche de phonation sur les représentations perceptives chez les deux groupes de sujets.

3.1 Participants

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre du projet de recherche dirigé par Lucie Ménard intitulé « Le développement du contraste i/y en français : le rôle des indices visuels et auditifs », lequel a été approuvé par le comité d'éthique du Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR). Le recrutement des participants malentendants a été fait par l'intermédiaire du centre plurirégional de réadaptation spécialisé et surspécialisé en surdité et en communication, l'Institut Raymond Dewar (IRD). Ce centre a présélectionné une liste de participants potentiels selon les critères de sélection que nous leur avons fournis. Les participants devaient :

- être âgé de 18 à 60 ans;
- avoir une surdité profonde à sévère (perte d'au moins 90dB des deux oreilles) depuis l'âge d'au moins 18 ans;
- utiliser de façon quotidienne un implant cochléaire depuis au moins 1 an;
- avoir le français québécois comme langue maternelle et d'usage, et;
- ne présenter aucun trouble neurologique ou langagier diagnostiqué (autre que le trouble de parole consécutif à la perte d'audition, s'il y a lieu).

Le nom de 28 personnes figurait sur cette liste et elles ont été sollicitées par courrier postal et électronique. Cinq participants ont ainsi été retenus. Une compensation monétaire de 50\$ leur a été offerte pour leur participation à la cueillette de données. De plus, nous avons défrayé les frais de transport de leur domicile à l'endroit de passation du test dans le but de minimiser le plus possible les inconvénients que pouvaient représenter pour eux la participation à cette étude. Le recrutement des participants du groupe contrôle s'est déroulé dans la communauté universitaire de l'UQAM. Les participants ont été recrutés par courriel et ont reçu 10\$ pour leur participation à la recherche.

Le groupe expérimental est composé de cinq adultes, trois hommes (34 ans, 61 ans et 45 ans) et deux femmes (56 ans et 60 ans), qui ont une surdité profonde à sévère (perte d'au moins 90dB des deux oreilles) depuis l'âge d'au moins 18 ans. Ces derniers utilisent de façon quotidienne un implant cochléaire depuis au moins 1 an. Le groupe contrôle est composé de quatre adultes ayant une audition normale, trois hommes (24 ans, 29 ans et 28 ans) et une femme (59 ans)⁸. Aucun des participants ne souffre de trouble neurologique ou langagier diagnostiqué. Tous les sujets ont le français québécois comme langue maternelle et d'usage. Nous utiliserons dorénavant la notation _e après les initiales pour spécifier qu'il s'agit d'un participant du groupe expérimental (sourds) et la notation _c pour spécifier qu'il s'agit d'un participant du groupe contrôle. Les tableaux 3.1 et 3.2 représentent les données sociodémographiques des participants.

⁸ Les données d'une participante sourde ont dûes être retirées de la partie articulatoire et d'une autre de la partie « perception », c'est pour cette raison qu'il y a que quatre participants dans le groupe contrôle.

Tableau 3.1
Données sociodémographiques et cliniques des participants malentendants

Initiales du sujet	AC_e	BT_e	DM_e	FG_e	SB_e
Sexe	M	M	M	F	F
Âge	34	61	45	56	60
Étiologie	inconnue	perte subite	héréditaire	héréditaire	héréditaire
Perte auditive OD-OG (dB)	105-107	100-98	93-95	102-102	105-103
Oreille appareillée	Droite	Droite	Gauche	Gauche	Droite
Type d'implant	Clarion	Clarion	Advanced Bionics Hires	Clarion	Inconnu
Âge du début de la perte auditive	9 mois	50 ans	4-5 ans	11 ans	inconnu
Âge d'atteinte de la surdité profonde à sévère	inconnu	50	inconnu	inconnu	35
Âge à l'implantation	32	51	41	51	55

Tableau 3.2
Données sociodémographiques
des participants entendants

Initiales du sujet	Sexe	Âge
AL_c	M	24
FB_c	M	28
FL_c	F	59
SD_c	M	28

3.1.1.1 Surdité

L'Association des Sourds du Canada identifie une personne comme médicalement/audiologiquement sourde lorsque cette personne a peu ou pas d'audition fonctionnelle et dépend d'une communication visuelle plutôt qu'auditive. Cette définition exclue les personnes ayant une d fici nce auditive utilisant les langues orales. Nous utiliserons néanmoins le terme sourd pour identifier les participants ayant une surdité profonde qui

utilisent le mode de communication oral. Environ 3 % des personnes de 12 ans et plus vivant à domicile souffrent d'une forme ou l'autre de difficulté d'audition (Millar, 2005) et cette prévalence augmente chez les personnes de plus de 65 ans qui représentent 55% de cette population.

Il existe trois types de surdités⁹. La surdité de transmission est due à une lésion de l'oreille moyenne ou externe. L'oreille interne est intacte et reçoit la vibration sonore transmise par voie osseuse. La perte auditive en conduction aérienne peut varier de 20 dB à 60 dB. D'un autre côté, la surdité de perception est causée par une lésion du système auditif au niveau de l'oreille interne, de la cochlée ou des structures nerveuses. La perte auditive peut varier de 20 dB à 100 dB et au-delà. Elle est souvent importante sur les fréquences aiguës. L'audition par voie osseuse est du même niveau que l'audition par voie aérienne. Enfin, il y a aussi la surdité mixte qui est la coexistence des deux types d'atteintes décrites précédemment. Les sujets ayant participé à cette étude ont tous, selon la classification présentée au tableau 3.3, une déficience auditive profonde qui n'affecte pas la transmission nerveuse.

9 <http://www.lesmainspourledire.be/surdite-de-transmission.php>

Tableau 3.3
Classification audiométrique des types de déficiences auditives¹⁰

Classification des déficiences auditives	Perte tonale moyenne (dB) et sons perçus
Légère	entre 21 et 40 dB perception de bruits familiers et de la parole normale
Moyenne	1 ^{er} degré : entre 41 et 55 dB 2 ^{ième} degré : entre 56 et 70 dB perception de quelques bruits familiers et de la parole à voix élevée
Sévère	1 ^{er} degré : entre 71 et 80 dB 2 ^{ième} degré : entre 81 et 90 dB perception de bruits forts et de la parole à voix forte près de l'oreille
Profonde	1 ^{er} degré : entre 91 et 100 dB 2 ^{ième} degré : entre 101 et 110 dB 3 ^{ième} degré : entre 111 et 119 dB perception de bruits très puissants et aucune perception de la parole
Totale (cophose)	plus de 120 dB aucun son n'est perçu

3.1.1.2 L'implant cochléaire

Pour avoir accès à l'information auditive de la parole, de nombreuses personnes ont recours à des appareils auditifs. Il n'y a que les personnes dont la cochlée et le nerf auditif sont intacts qui peuvent se prévaloir de ces instruments. Les prothèses dites conventionnelles amplifient le son transmis à l'oreille moyenne et interne dont les structures et le fonctionnement sont intacts.

D'un autre côté, l'implant cochléaire remplace toutes les structures de l'oreille externe à la cochlée. Il s'agit d'un appareil électronique conçu pour fournir l'audition à ceux qui ont une surdité profonde. Une partie de cet appareil est implantée chirurgicalement dans l'oreille interne et une partie est portée à l'extérieur. L'implant cochléaire stimule directement le nerf auditif, déviant la partie endommagée de l'oreille interne ou la cochlée. Plusieurs fibres de

¹⁰ Source : www.biap.org

nerfs viables restent dans le nerf auditif même dans le cas de surdité profonde et l'implant cochléaire peut restaurer l'activité de ce nerf et les voies auditives. Seuls les enfants en bas âge et les individus ayant subi une perte d'audition après avoir acquis la parole et le langage (postlinguistique) sont capables de comprendre la parole avec leur implant. Au Canada, les critères d'admissibilité aux programmes d'implantation cochléaire pour les adultes sont les suivants¹¹ :

- Perte auditive neurosensorielle sévère à profonde aux deux oreilles
- La perte auditive peut être acquise avant (prélinguistique) ou après (postlinguistique) avoir appris la parole et le langage
- Incapacité à comprendre la parole avec des appareils auditifs appropriés
- Aucune contre-indication médicale
- Attentes réalistes et un désir de faire partie du monde entendant

L'implant cochléaire remplace les cellules ciliées (cf. section 1.2.1). L'appareil capte les sons à l'aide d'un microphone externe qui transmet l'information électrique à l'oreille interne via un processeur et des électrodes posés dans la cochlée. Le processeur a pour fonction de transformer l'information captée par le microphone en impulsion électrique. Cette information est transmise aux électrodes qui distribuent le signal et stimule les terminaisons nerveuses auditives.

Le choix d'étudier des sourds ayant un implant cochléaire nous permet de manipuler l'accès au feedback auditif puisque cet appareil auditif peut facilement être éteint.

3.2 Plan expérimental et corpus

La procédure expérimentale de cette recherche comporte la passation de plusieurs tests pour chacun des participants (devis à mesures répétées). Tous les sujets débutent et terminent la session expérimentale en faisant le test de perception (PER1 et PER2) et effectuent quatre séances de 20 répétitions de [ogu] dans chaque condition (N1, P1, P2 et N2). Les blocs N1 et

¹¹Source : Académie canadienne d'audiologie
<http://www.canadianaudiology.ca/consommateurs/cochleaire/>

N2 sont effectués sans tube labial, alors que les blocs P1 et P2 sont effectués avec tube labial. De plus, les participants du groupe expérimental ferment leur implant cochléaire durant les séances N1 et P1. Le tableau 3.4 représente l'ordre des tests et la composition des groupes expérimentaux, inspiré de Lane *et al.* (Lane *et al.*, 1995). Il est à noter que toutes les sessions expérimentales ont eu lieu dans la chambre sourde du Laboratoire de phonétique de l'Université du Québec à Montréal.

Tableau 3.4
Devis expérimental

	Groupes	
	Expérimental	Contrôle
prétest	X	X
N1	implant éteint	X
P1	implant éteint	X
P2	implant en fonction	X
N2	implant en fonction	X
posttest	X	X

3.3 Perception

Les tests de perception ont été effectués par tous les participants au début et à la fin de la séance expérimentale. Afin de pouvoir observer l'impact de la tâche de production sur les réponses au test de perception, ces deux tests sont identiques. Il s'agit de tests de catégorisation, c'est-à-dire que le sujet doit classer le son qu'il entend dans la catégorie vocalique appropriée.

3.3.1 Stimuli

Le participant entend, une à la fois, 11 voyelles différentes répétées cinq fois dans un ordre aléatoire. Ces 11 stimuli ont été générés à l'aide du modèle articulatoire VLAM (Maeda, 1979). À partir de la valeur prototypique de /u/ pour un homme de 21 ans (Ménard, 2002), 11 voyelles synthétiques dont F1 varie de 0.11 Bark jusqu'à atteinte de la valeur prototypique de /o/ ont été générées. Le continuum créé représente un éventail de voyelles se situant entre /u/

et /o/. Concrètement, pour un locuteur du français, la classification des voyelles au centre de ce continuum est ambiguë et celle des voyelles aux extrémités est davantage limpide. Le tableau 3.5 liste les valeurs des formants des voyelles aux extrêmes du continuum. Les stimuli sont égaux par ailleurs, ils ont une durée de 597 secondes, leur encodage est mono de 16 bits, et leur fréquence d'échantillonnage est de 22 050 Hz.

Tableau 3.5
Valeurs des voyelles aux extrêmes du continuum

	/u/	[o]
F1 (Hz)	258	373
F2 (Hz)	705	753
F3 (Hz)	2002	2023
F4 (Hz)	2175	3627
F1 (Bark)	2,71	3,82
F2 (Bark)	6,58	6,92
F3 (Bark)	12,90	12,97
F4 (Bark)	13,46	16,94

3.3.2 Instrumentation et consignes

Le test a été conçu et présenté aux participants avec le logiciel *Praat* 5.0.18. Durant le test, le participant était assis devant un écran d'ordinateur et portait un casque d'écoute Audio-Technica ATH-M20. Il lui était demandé d'identifier, au meilleur de ce qu'il entend, en cliquant sur l'écran, la voyelle entendue. Avant de débiter le test, l'expérimentateur a pris soin d'expliquer au participant qu'il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse et que le temps n'est pas compilé. Le participant cliquait à l'écran sur la voyelle entendue, soit /o/ ou /u/. La figure 3.1 représente l'interface du test de perception. Le test comportait une phase de familiarisation pendant laquelle l'expérimentatrice restait aux côtés du sujet pour répondre à ses questions et pour ajuster le volume à la guise du participant. L'expérimentatrice quittait la salle d'enregistrement pendant la durée du test (5 minutes). Il va sans dire que l'implant cochléaire des participants sourds est demeuré en fonction pendant ces tests.

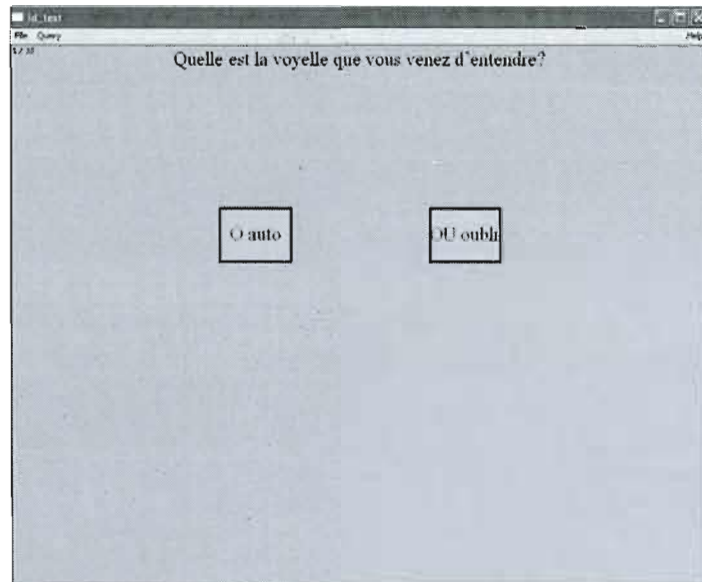


Figure 3.1 Interface du test de perception.

3.3.3 Traitement des résultats

Les résultats ont été compilés avec le logiciel *Microsoft Excel*. Des courbes de perception catégorielle ont été tracées et la valeur de la voyelle à 50% des réponses, c'est-à-dire la voyelle qui correspond à la frontière catégorielle, a été calculée. Nous espérons être en mesure de créer des sous-groupes de sujets selon les résultats aux tests de perception. De plus, nous souhaitons déterminer si le fait d'activer les mécanismes de production de la parole influence la catégorisation des voyelles.

3.4 Production

À la suite du premier test de perception (prétest), les participants ont répété 80 fois la séquence [ogu], en quatre blocs de 20 répétitions : soit N1, P1, P2 et N2. Les conditions perturbées, pendant lesquelles le sujet porte un tube labial, correspondent à P1 et P2, alors que les conditions normales, à N1 et N2. Afin de faire varier l'état du feedback auditif, les participants du groupe expérimental ont fermé leur implant cochléaire pendant les blocs N1 et P1. Après les blocs de production, le sujet refait le test de perception.

3.4.1 Corpus

Le corpus utilisé pour la tâche de production s'inspire de la découverte que la compensation à une perturbation labiale lors pour un /u/ est facilitée lors de la production préalable d'un /o/. Il semble que la position linguale standard du /o/, plutôt pharyngale et davantage postérieure que celle d'un /u/ standard, permettrait d'atteindre plus facilement la cible /u/ lorsque les lèvres sont plus ouvertes, comme par exemple lors du port d'un tube labial. Dans cette condition, il a été démontré que la production de [ogu], comparativement à la production de la voyelle /u/ isolée, avantage la compensation linguale (Cocusse, 1996 ; Savariaux, Boë et Perrier, 1997). Cette technique a été nommée guidage articulaire. La figure 3.2 représente les options articulatoires pour produire la voyelle /u/, la ligne continue représente la configuration standard, alors que les lignes pointillées représentent les configurations alternatives lors d'une perturbation labiale.

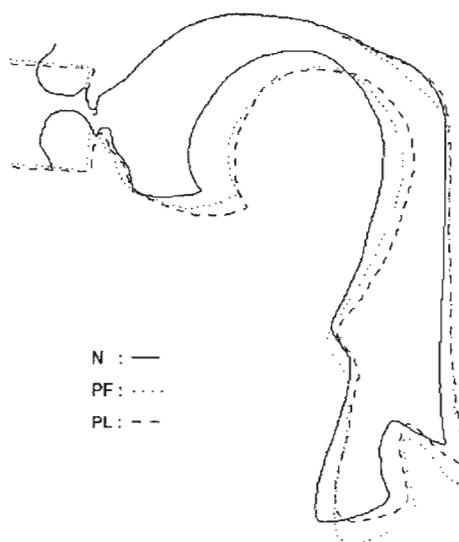


Figure 3.2 Configuration articulatoire de la voyelle /u/ (tiré de Savariaux et al., 1995).

3.4.2 Instrumentation

Les chercheurs dans le domaine ont choisi des tubes labiaux augmentant l'aire aux lèvres lors de la production de la voyelle arrondie /u/ (Aubin, 2006 ; Cocusse, 1996 ; Ménard *et al.*, 2008 ; Savariaux, Perrier et Orliaguet, 1995). La taille de ces tubes varie en longueur (entre 1

et 2cm) et le diamètre interne est fixe (2cm). Pour cette expérience, des morceaux de tubes de plastique ayant un diamètre interne de 2cm ont été coupés à trois longueurs différentes (1cm, 1,5cm et 2cm) pour s'ajuster aux lèvres des participants (figure 3.3).



Figure 3.3 Tubes labiaux.

L'enregistrement acoustique a été fait à l'aide d'un microphone à condensateur unidirectionnel *Shure SM-84* tenu par un trépied à environ 25 cm du visage du participant. Un appareil à ultrasons 180-Plus (*Sonosite*) a permis de visualiser les coupes sagittales de la langue en temps réel. Une caméra numérique AG-DVX100-B (*Panasonic*) a servi de relai entre les appareils et un ordinateur a enregistré les fichiers vidéos contenant les informations synchrones de l'ultrason et de l'acoustique. La technologie ultrasonographique comporte de nombreux avantages et est de plus en plus utilisée en sciences de la parole, surtout pour attribuer des valeurs qualitatives aux mouvements linguaux. Cette méthode est non-invasive, ce qui permet de l'utiliser avec des populations cliniques et des enfants. De plus, elle produit aucun champ-magnétique pouvant nuire au fonctionnement d'appareils auditifs, tel que l'implant cochléaire. La sonde utilisée pour cette expérience produit des fréquences entre 2 et 4 Mhz et a un angle de 84 degrés. Afin d'observer la variation articulatoire lors de la production d'un /u/, la sonde est positionnée de façon à obtenir des images de la langue en coupe sagittale (figure 3.4). Ces dernières sont transmises au caméscope à un taux de 29.97 images par seconde et le signal audio venant du microphone externe à un taux de 48 KHz. C'est le logiciel *Adobe Premiere Pro CS3* version 3.2.0 qui prend en charge l'input vidéo de la caméra sur la station informatique.

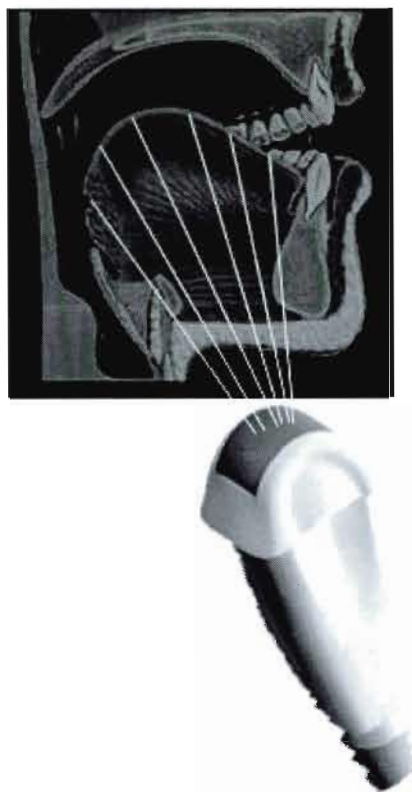


Figure 3.4 Coupe sagittale de la surface de la langue telle que captée par l'ultrasonographie.

Pour nous permettre de quantifier les mouvements de la langue, il a été nécessaire de nous assurer que les mesures prises soient précises. La sonde doit capter des images au même point sous la mâchoire pendant la totalité de l'enregistrement. Si elle bouge, il est possible que les différences observées lors de l'analyse quantitative soient le résultat du mouvement de la sonde et non de la langue. À cet effet, les laboratoires de recherche ont développé diverses stratégies souvent choisies en fonction des populations étudiées. Par exemple, pour étudier la parole d'adultes, la stabilisation de la tête, un moyen simple et relativement peu contraignant pour le sujet, a été adoptée par plusieurs chercheurs¹². Par contre, cette méthode risque de compresser la masse linguale et de perturber l'ouverture de la mâchoire. Ce

¹² University of British Columbia, Vocal Tract Visualization Laboratory (University of Maryland, Baltimore), Laboratoire de phonétique (Université du Québec à Montréal)

phénomène se produit surtout si la sonde est fixée sur le sujet alors que ce dernier a la bouche plutôt fermée, ainsi, une résistance sera créée sous le menton lors de la production de sons ouverts. De plus, si la tête est stabilisée, les mouvements des participants sont moins naturels que si elle est libre de bouger et, malgré ceci, rien encore n'assure que la sonde demeurera fixe pendant l'enregistrement. Pour ces raisons, d'autres chercheurs préfèrent tenir simplement la sonde sous le menton des participants. Cette technique plus conviviale et naturelle est, pour des raisons évidentes, utilisée pour étudier la parole d'enfants. Certains ont même conçu une méthode permettant la correction des mouvements de la tête à l'aide d'un système par suivi de senseurs, le *Haskins Optical Corrected Ultrasound System* (Whalen *et al.*, 2005). Pour cette recherche, nous avons choisi un corpus dont la diversité ne nécessite pas une grande liberté de mouvement de la mâchoire et la sonde a été maintenue par un casque ajustable (Wrench, 2008). Contrairement aux techniques de stabilisation de la tête, ce casque permet au sujet de bouger librement la tête, mais fixe la sonde sous le menton (*cf.* fig. 3.5).



Figure 3.5 Casque à sonde ultrason.

3.4.3 Procédure et enregistrement

Avant le début de l'enregistrement, les participants ont relu et signé le formulaire de consentement (Cf. Annexe A) qu'ils avaient déjà reçu par courrier postal. L'expérimentatrice a pris le temps d'expliquer le déroulement de l'expérience, de répondre à toutes les questions des participants et de les informer que tous les appareils présents dans la salle sont inoffensifs pour l'implant cochléaire. Le sujet était assis confortablement sur une chaise et enfilait lui-même le casque tenant la sonde. Par la suite, l'expérimentatrice ajustait le casque à la morphologie du participant. La consigne de répéter les mots « au goût » était donnée aux participants. Pour faciliter l'analyse ultérieure, il était aussi demandé aux sujets d'allonger la voyelle finale /u/. Par la suite, les participants ayant un implant cochléaire ont éteint celui-ci pour les deux premiers blocs de répétition, N1 sans tube labial et P1 avec tube labial. Les occurrences étaient notées sur papier par une deuxième expérimentatrice qui faisait signe au sujet lorsqu'un bloc était terminé. Les sujets remettaient leur appareil en fonction pour les blocs finaux, P2, avec tube labial, et N2, sans tube labial. Les sujets du groupe contrôle ont effectué le même nombre de répétitions.

3.4.4 Données acoustiques

Des fichiers .wav (encodage mono, 16 bits, fréquence d'échantillonnage 48 kHz) sont extraits du fichier vidéo .avi avec le logiciel *Adobe Premiere Pro CS3* version 3.2.0. Chaque fichier sonore contient une occurrence [ogu]. Le début et la fin des deux voyelles ([o] et /u/) ont été identifiés puis segmentés avec le logiciel *Praat* version 5.0.18 (figure 3.6). Les valeurs des formants (F1-F2-F3-F4) de la voyelle /u/ ont été prises automatiquement à l'aide d'un script d'extraction (Remijsen, 2004) utilisant une analyse LPC à 10 pôles (algorithme burg). Le même outil a servi à extraire les mesures de fréquence fondamentale (F0) avec une analyse de la période acoustique basée sur la méthode d'autocorrélation. Les valeurs des formants sont captées au milieu (T2) de chaque voyelle et celles de fréquence fondamentale à 10% du début (T1), au milieu (T2) et à 10% de la fin (T3) de la voyelle /u/. Pour l'analyse finale, seules les mesures prises à T2 ont été conservées. Ces données sont ensuite traitées par un programme *Praat* qui permet, pour chaque voyelle, de visualiser facilement les évolutions temporelles de chaque formant (en Hertz), les distances inter-formants (en Bark), les ellipses de dispersions sur le plan F1/F2 et ce, pour toutes les conditions.

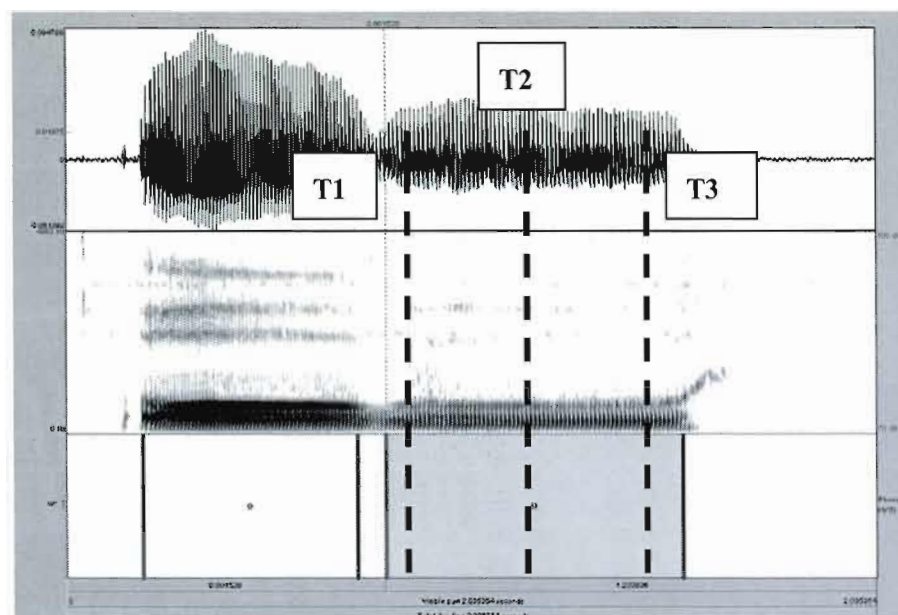


Figure 3.6 Étiquetage des fichiers sonores.

3.4.5 Données articulatoires : images de la langue

Les images (.jpg) correspondant au milieu de la voyelle (T2) ont été analysées. Le tracé du contour de la langue a été semi-automatiquement détecté à l'aide du logiciel *EdgeTrak* (Li, Kambhamettu et Stone, 2005) pour chaque image (figure 3.7). Ce dernier a été retenu puisqu'il permet de faire des corrections manuelles aux mesures prises. Cette caractéristique est essentielle à l'analyse, les images ultrasonographiques sont parfois floues, incomplètes ou contiennent des artefacts. Pour s'assurer que l'affichage est fidèle au contour réel de la langue, il est souvent nécessaire d'observer plus d'une image à la fois. L'observation d'une séquence permet souvent d'identifier clairement la surface de la langue en comparaison au palais ou à des artefacts.

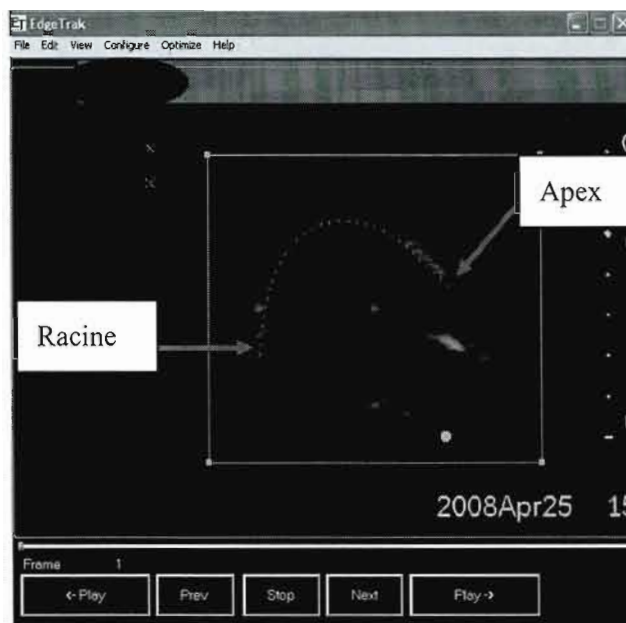


Figure 3.7 Traçé des contours de langue avec le logiciel *EdgeTrak*.

Pour l'analyse subséquente, le logiciel *LINGUA*, développé au Laboratoire de phonétique de l'UQAM (Aubin, 2006), a été utilisé. Ce programme permet de quantifier la position de la langue à partir des coordonnées x/y extraites par *EdgeTrak*. *LINGUA* produit un triangle basé sur les points A, B et C représentant la langue (figure 3.8).

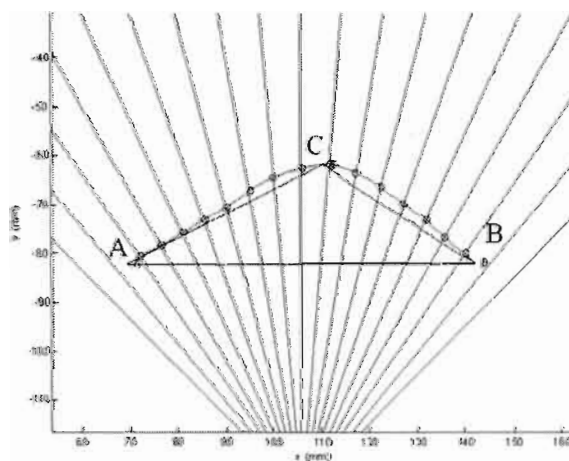


Figure 3.8 Triangle formé par *LINGUA* à partir des points A, B et C.

Ainsi, des triangles différents peuvent être construits. Tel qu'illustré à la figure 3.9, les voyelles [a], [i] et [u] peuvent être caractérisées à l'aide de ce polygone et des points A, B, C, D, et E. Trois facteurs sont analysés dans cette étude pour quantifier la position et la forme de la langue. Ces indices ont été retenus comme étant les meilleurs suite à des analyses discriminantes (Aubin, 2006). Les coordonnées du point maximal de la courbure (E) informe de la position de la langue. Ce point correspond au point le plus éloigné de la sonde et non du plancher de la bouche. Quant à la forme de la langue, elle est caractérisée par le degré de courbure (AB/CD) et l'asymétrie (AD/DB).

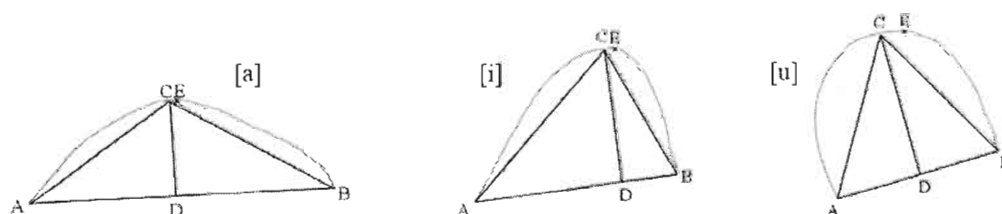


Figure 3.9 Types de triangles obtenus pour les voyelles [a], [i] et [u] à partir de contours réels (tiré d'Aubin, 2006).

3.5 Conclusion

Ce chapitre a mis en lumière les procédures utilisées dans cette étude. Pour mesurer l'impact du feedback auditif sur la sonorité et l'articulation de la parole, nous comparons la parole de participants atteint de surdité à celle de participants ayant une audition normale, et nous évaluons aussi l'apport de l'information auditive provenant de l'implant cochléaire chez des sourds en faisant usage. Puisque tous les participants utilisent la communication orale et que les sourds de groupe expérimental sont considérés comme postlinguaux, il n'est pas évident que des différences majeures ressortent du simple fait de comparer la parole des deux groupes. Nous utilisons donc le paradigme de perturbation de la parole des tubes labiaux pour forcer tous nos locuteurs à adapter leurs stratégies langagières. Enfin, l'intérêt d'étudier de nombreux aspects de la parole, la perception, l'articulation et l'acoustique, prend tout son sens dans le cadre d'une problématique postulant l'existence de liens entre les différents modules langagiers.

TROISIÈME PARTIE

RÉSULTATS

CHAPITRE IV

ANALYSE DE LA PRODUCTION DE LA PAROLE

Ce chapitre a pour objectif de caractériser les propriétés acoustiques et articulatoires de la parole des participants sourds et entendants. Dans un premier temps, l'impact de la perturbation labiale sur les données acoustiques sera étudié. Nous observerons les phénomènes compensatoires qui permettent l'adaptation de la parole et dans quelle mesure ces ajustements ont été efficaces. Dans un deuxième temps, la dynamique linguale sera détaillée, ce qui nous mènera à décrire les modifications articulatoires engendrées par la perturbation. Enfin, pour les deux volets, il est important de garder en tête que nous désirons aussi évaluer si la variation d'état de feedback auditif chez le groupe expérimental influence les paramètres acoustiques et articulatoires et les processus compensatoires.

4.1 Description des résultats acoustiques

Les résultats acoustiques de la production de la voyelle [u] en conditions normales et perturbées pour les deux groupes de locuteurs sont ici présentés. Les études présentées aux chapitres précédents nous ont appris que la parole chez les sourds post-linguaux demeure intacte pendant de nombreuses années suite à la perte auditive. En surface, les paramètres segmentaux, par exemple les formants des voyelles, semblent in affectés et ce sont les changements au niveau suprasegmental (durée, F0, intensité) qui sont les plus saillants. Des travaux décrits au chapitre II ont cependant démontré des différences formantiques dans les voyelles produites par les sourds. Des études de perturbations structurales, nous savons maintenant que le feedback auditif est utilisé à moyen et à long terme pour réajuster la

planification articulaire. Afin de mettre en lumière les variations dues aux différents états de feedback auditif des participants, nous observerons d'abord les données groupées. De nombreuses études ont relevé d'importantes variations interindividuelles dans le comportement compensatoire, et pour rendre compte de celles-ci, les résultats individuels seront par la suite présentés.

Malheureusement, les données de la locutrice sb_e sont exclues de cette section d'analyse. Les images ultrasonographiques étaient trop floues et conséquemment non analysables. De plus, l'acoustique de l'enregistrement était de très mauvaise qualité. Ces facteurs ont affecté notre capacité à prendre correctement les mesures pour cette locutrice. Le groupe expérimental sera donc composé des quatre autres sujets sourds.

Rappelons que les occurrences produites en condition « N » correspondent à celles non-perturbées par opposition à celle en « P » qui sont perturbées. Aussi, les participants du groupe expérimental ont effectué les blocs N1 et P1 leur implant éteint, et les blocs P2 et N2 leur implant en fonction.

Pour les mesures de F1, F2 et F0, des histogrammes représentant la variation en % par rapport à N seront présentés et suivis de tableaux présentant les résultats d'analyses de variance.

4.1.1 Données groupées

Le premier résultat est celui de F1, ce paramètre est généralement corrélé à l'aperture des voyelles, c'est-à-dire au degré d'ouverture de la mâchoire. Sur la figure 4.1, on remarque que les sujets du groupe contrôle (bandes pâles) ont augmenté ce paramètre dans toutes les conditions suivant N1, alors que ceux du groupe expérimental (bandes foncées) l'ont diminué légèrement à P1 pour le faire davantage à P2 et N2.

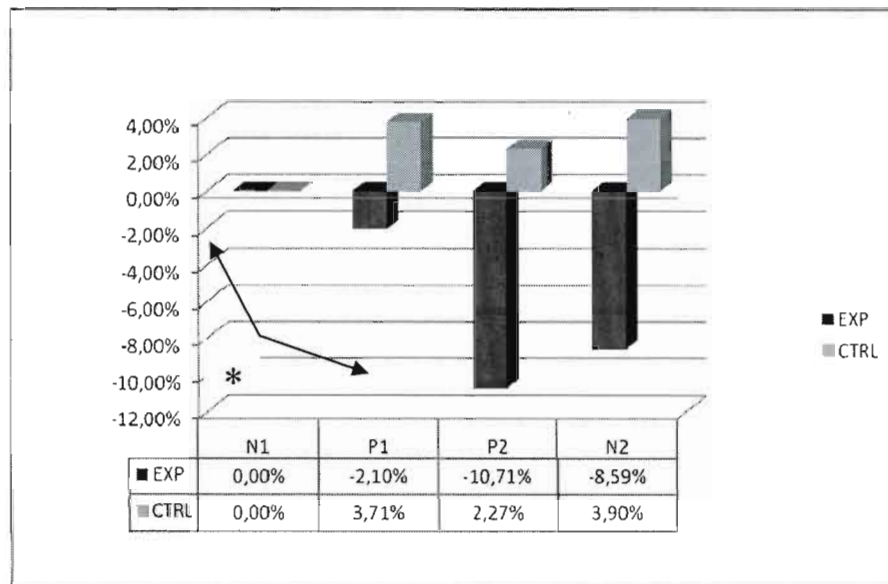


Figure 4.1 Moyenne des variations en % (/N1) de F1 pour les deux groupes et pour les conditions N1, (préperturbation), N2 (postperturbation) et P1-P2 (perturbées) (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

Les résultats d'une ANOVA à mesure répétées (voir tableau 4.1) ayant le facteur *groupe* et les variables indépendantes *conditions* et *occurrences* ont révélé un effet d'interaction significatif entre les variables *groupe* et *condition* ($F(3,18)=5,75$; $p < 0.05$).

Tableau 4.1

ANOVA sur le pourcentage de changement de F1 lors des conditions P1-P2 (perturbées) et N2 (postperturbation) par rapport à la condition N1 (préperturbation) au cours des 19 répétitions pour les deux groupes de sujets (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$)

	Degrés de liberté	F	P
Groupe	1,6	4.677	0.074
Conditions	3,18	1.877	0.170
Conditions*Groupe	3,18	3.376	0.041*
Occurrences	18,108	1.017	0.447
Occurrences*Groupe	18,108	0.870	0.615
Conditions*Occurrences	54,324	0.880	0.710
Condition*Occurrences*Groupe	54,324	0.631	0.979

Des tests *posthoc* confirment que la différence entre les conditions N1 et P2 pour le groupe expérimental est significative ($p < 0.05$), ce qui indique que le port de l'implant

cochléaire en P2, combiné à la perturbation du tube labial, a un impact sur le contrôle de F1 pour les sujets sourds, pour la voyelle /u/ à l'étude.

Passons maintenant aux résultats de F2. La graphique suivant illustre la variation en pourcentage de F2 par rapport à N1 pour toutes les conditions et pour les deux groupes de locuteurs. Le corrélat articulatoire de F2 est le trait d'antéro-postériorité de la langue. Le tube labial perturbe l'action des lèvres et c'est par le déplacement de la langue que les locuteurs doivent compenser la perturbation. Conséquemment, la variation de F2 indique en quelque sorte le degré d'adaptation articulatoire des locuteurs. Les participants des deux groupes semblent avoir augmenté ce paramètre en condition perturbée, mais le changement est encore une fois plus marqué pour le groupe expérimental que le contrôle.

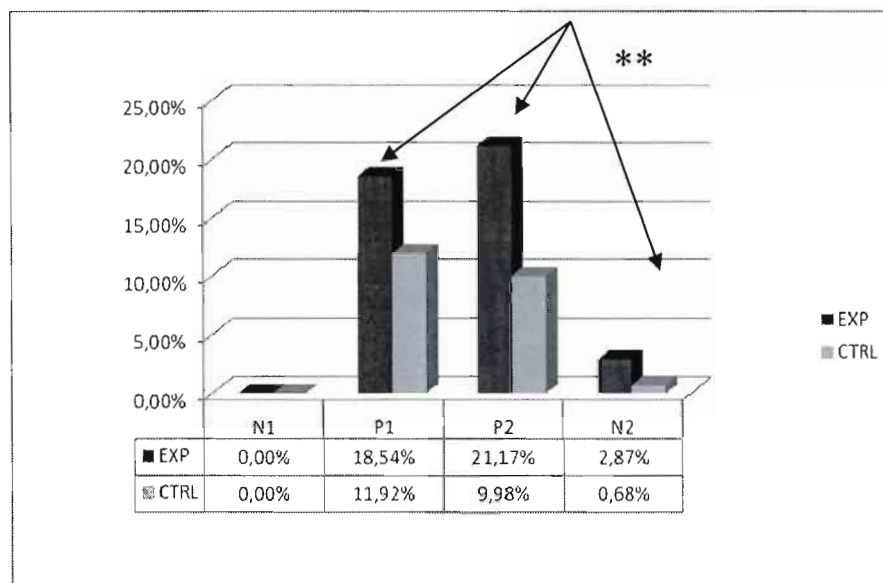


Figure 4.2 Moyenne des variations en % (/N1) de F2 pour les deux groupes et pour les conditions N1 (préperturbation), P1 et P2 (perturbées), et N2 (postperturbation) (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

Une ANOVA à mesure répétées ayant pour facteur le *groupe* et comme variables indépendantes *conditions* et *occurrences* a été effectuée sur le pourcentage de changement de F2 lors des quatre conditions (voir tableau 4.2). Cette analyse révèle un effet significatif de la *condition* ($F(3,18)=5,75$; $p < 0,001$) et un effet d'interaction *condition*occurrences* ($F(54,324)=1,18$; $p < 0,05$). Des tests *posthoc* démontrent que les conditions P1 et P2 sont significativement différentes de N2 ($p < 0,05$). On observe néanmoins une nette augmentation

par rapport à la condition N1 de respectivement 11,92% et de 9,98% pour les conditions P1 et P2 chez le groupe contrôle et de 18,54% et de 21,17% chez le groupe expérimental. De plus, les résultats de *tests de Student pairés* démontrent que les quatre premières et les quatre dernières occurrences de la condition N2 sont significativement différentes ($p < 0.05$). Ce dernier résultat est la manifestation d'un effet postperturbation sur le paramètre F2.

Tableau 4.2

ANOVA sur le pourcentage de changement de F2 lors des conditions P1-P2 (perturbées) et N2 (postperturbation) par rapport à la condition N1 (préperturbation) au cours des 19 répétitions pour les deux groupes de sujets (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$)

	Degrés de liberté	F	P
Groupe	1,6	0.692	0.437
Conditions	3,18	5.753	0.006**
Conditions*Groupe	3,18	0.324	0.808
Occurrences	18,108	1.014	0.451
Occurrences*Groupe	18,108	1.322	0.188
Conditions*Occurrences	54,324	1.413	0.038*
Condition*Occurrences*Groupe	54,324	1.188	0.185

Le dernier résultat acoustique présenté est la fréquence fondamentale (F0). Dans la partie théorique de ce mémoire, nous avons appris que la F0 est souvent très affectée chez les hommes sourds, ils ont généralement une voix plus haute que les hommes ayant une audition normale. La F0 est aussi connue pour aider les locuteurs à normaliser d'autres paramètres acoustiques lors de tâches de compensation articulatoire. Le graphique suivant illustre la variation en pourcentage de F0 par rapport à N1 pour toutes les conditions et pour les deux groupes de locuteurs.

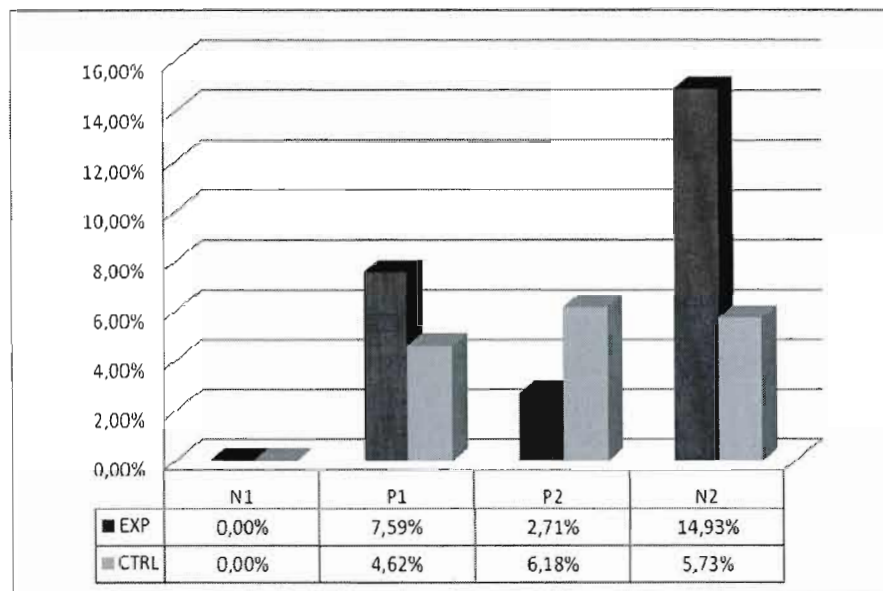


Figure 4.3 Moyenne des variations en % (/N1) de F0 pour les deux groupes et pour les deux groupes et pour les conditions N1 (préperturbation), P1 et P2 (perturbées), et N2 (postperturbation) (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

Les participants des deux groupes ont eu tendance à augmenter ce paramètre dès la condition P1. On remarque que les sourds ont augmenté de façon importante la F0 durant la condition postperturbation (N2). Une ANOVA à mesures répétées ayant pour facteur le *groupe* et comme variable indépendante *conditions* et les *occurrences* a été effectuée sur le pourcentage de changement de F2 lors des quatre conditions (tableau 4.3).

Tableau 4.3

ANOVA sur le pourcentage de changement de F0 (milieu) lors des conditions P1-P2 (perturbées) et N2 (postperturbation) par rapport à la condition N1 (préperturbation) au cours des 19 répétitions pour les deux groupes de sujets (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$)

	Degrés de liberté	F	P
Groupe	1,6	4.105	0.089
Conditions	3,18	1.585	0.228
Conditions*Groupe	3,18	2.034	0.145
Occurrences	18,108	2.008	0.015*
Occurrences*Groupe	18,108	1.319	0.191
Conditions*Occurrences	54,324	0.998	0.484
Condition*Occurrences*Groupe	54,324	0.857	0.751

Cette analyse a révélé un effet significatif des *occurrences*. Toutefois, les résultats de *tests de Student pairés* ne démontrent pas de différences significatives entre les occurrences au début et celles à la fin des conditions ($p > 0.05$).

4.1.2 Les résultats individuels

Après avoir observé les résultats compilés par groupe, les résultats acoustiques seront maintenant présentés par sujet dans trois tableaux résumant la moyenne des valeurs formantiques, l'écart type et la variation par rapport à la condition N1.

Le tableau suivant représente les valeurs moyennes de F1, l'écart type de ces valeurs ainsi que le pourcentage de variation de F1 par rapport à la condition N1 pour tous les sujets des deux groupes.

Tableau 4.4
Valeurs de F1, (écart type) en Hz et [variation/N1 en %] pour tous les sujets, dans les quatre conditions.

Sujet	N1	P1	P2	N2
ac_e	362,15 (33,96)	378,10 (28,75) [+4,40%]	365,80 (28,30) [+1,01%]	343,16 (33,58) [-5,25%]
bt_e	374,20 (46,83)	351,26 (26,23) [-6,13%]	333,28 (21,83) [-10,93%]	331,31 (22,19) [-11,46%]
dm_e	307,82 (72,30)	282,74 (43,57) [-8,15%]	266,34 (50,61) [-13,48%]	305,99 (71,92) [-0,60%]
fg_e	402,89 (102,54)	408,90 (40,28) [+1,49%]	324,56 (45,56) [-19,44%]	334,10 (62,41) [-17,07%]
al_c	290,13 (12,43)	291,77 (5,91) [+0,56%]	287,96 (6,02) [-0,75%]	307,52 (26,54) [+5,99%]
fb_c	361,73 (15,32)	366,37 (11,62) [+1,28%]	376,32 (10,94) [+4,03%]	380,54 (19,30) [+5,20%]
fl_c	425,57 (27,24)	437,03 (22,29) [+2,69%]	415,08 (23,89) [-2,47%]	419,27 (31,86) [-1,48%]
sd_c	333,09 (28,07)	367,42 (6,02) [+10,31%]	360,65 (5,28) [+8,28%]	352,71 (8,69) [+5,89%]

Tandis que la variation de la condition N1 à P1 est faible (4,5% ou moins) pour trois locuteurs du groupe contrôle (al_c, fb_c et fl_c), celle de trois des locuteurs du groupe expérimental (ac_e, bt_e, dm_e) est plus élevée (plus de 4%). On remarque qu'aucun locuteur du groupe contrôle ne baisse ce paramètre à P1, deux le diminuent légèrement à P2

(al_c, fl_c). D'un autre côté, deux locuteurs sourds ont diminué ce paramètre à P1 (bt_e et dm_e) et trois à P2 (bt_e, dm_e, fg_e).

Enfin, on observe trois types d'effet postperturbation (N2) :

- i. La valeur formantique demeure similaire en N2 par rapport à P2, la parole demeure perturbée;
- ii. La valeur formantique revient à la normale pour atteindre une valeur similaire à celle en N1;
- iii. Le locuteur préserve les stratégies compensatoires adoptées en P1 et P2, malgré le retrait du tube labial, cela se manifeste par une valeur différente à celle en N1 et en P1-P2.

Précisément, on observe que de la condition N1 à la condition N2, les locuteurs ac_e, bt_e et fg_e diminuent la valeur formantique de F1 de respectivement 5,25%, 11,46% et 17,07% alors que dm_e ne la diminue que de 0,60%. De plus, la variation diminue pour bt_e et fg_e, ces locuteurs diminuent presque de moitié l'écart type en condition postperturbation. Les écarts types des deux autres sujets sourds restent presque égaux à ceux en condition N1. D'un autre côté, les locuteurs du groupe contrôle al_c, fb_c et sd_c augmentent légèrement (5,99%, 5,2% et 5,89%) la valeur de F1 en N2 et la locutrice fl_c la diminue à peine (1,48%). Enfin, les écarts types de trois sujets entendants (al_c, fb_c et fl_c) ont augmenté en condition N2 par rapport à la condition N1.

Le tableau suivant représente les valeurs moyennes de F2, l'écart type de ces valeurs ainsi que le pourcentage de variation de F2 par rapport à la condition N1 pour tous les sujets des deux groupes.

Tableau 4.5
Valeurs de F2, (écart type) en Hz et [variation/N1 en %] pour tous les sujets, dans les quatre conditions.

Sujet	N1	P1	P2	N2
ac_e	1090,95 (216,77)	1021,34 (48,72) [-6,38%]	1082,93 (92,92) [-0,73%]	972,88 (116,17) [-10,82%]
bt_e	812,15 (78,69)	863,35 (82,36) [+6,30%]	883,48 (75,47) [+8,78%]	885,98 (42,16) [+9,09%]
dm_e	639,70 (176,26)	840,02 (60,65) [+31,32%]	887,99 (88,92) [+38,81%]	737,82 (152,02) [+15,34%]
fg_e	797,22 (200,50)	1139,43 (95,21) [+42,93%]	1098,69 (104,70) [+37,82%]	780,25 (153,88) [-2,13%]
al_c	707,85 (77,51)	836,07 (28,27) [+18,11%]	824,44 (19,54) [+16,47%]	740,96 (61,51) [+4,68%]
fb_c	804,00 (25,99)	812,75 (28,93) [+1,09%]	812,51 (23,28) [+1,06%]	794,42 (42,88) [-1,19%]
fl_c	961,45 (142,38)	991,27 (42,52) [+3,10%]	996,64 (40,01) [+3,66%]	945,21 (68,05) [-1,69%]
sd_c	703,23 (30,55)	881,80 (34,00) [+25,39%]	834,83 (44,62) [+18,71%]	709,71 (55,83) [+0,92%]

Remarquons d'abord que sept des huit participants ont augmenté ce paramètre pour les conditions P1 et P2, il n'y a que le locuteur ac_e qui l'a diminué. Il y a donc un effet clair de la perturbation sur ce paramètre. Les écarts types des locuteurs sourds sont beaucoup plus élevés que ceux des locuteurs entendants et ce, dans toutes les conditions. Enfin, les effets postperturbation (N2) sont élevés (au de-là de 9%) pour trois des quatre locuteurs sourds (ac_e, bt_e, dm_e), alors que pour les autres locuteurs il est plutôt faible (moins de 5%).

Finalement, l'écart type de tous les sujets sourds a diminué en condition N2 par rapport à la condition N1 et c'est aussi le cas pour deux sujets entendants (al_c et fl_c).

Le tableau suivant représente les valeurs moyennes de F0, l'écart type de ces valeurs ainsi que le pourcentage de variation de F0 par rapport à la condition N1 pour tous les sujets des deux groupes

Tableau 4.6
Valeurs de F0 (écart type) en Hz et [variation/N1 en %] pour tous les sujets, dans les quatre conditions.

Sujets	N1	P1	P2	N2
ac_e	193,38 (23,44)	181,37 (18,49) [-6,21%]	177,71 (11,60) [-8,10%]	173,09 (10,95) [-10,49%]
bt_e	115,41 (6,49)	132,57 (6,57) [+14,86%]	133,66 (5,66) [+15,81%]	133,85 (5,94) [+15,97%]
dm_e	171,89 (29,17)	202,45 (15,02) [+17,78%]	194,65 (15,29) [+13,24%]	210,50 (19,94) [+22,46%]
fg_e	196,94 (48,89)	204,67 (15,24) [+3,93%]	177,01 (44,57) [-10,12%]	259,52 (36,50) [+31,78%]
al_c	94,84 (0,75)	98,66 (0,99) [+4,03%]	97,13 (1,73) [+2,41%]	96,89 (2,10) [+2,17%]
fb_c	100,43 (8,19)	118,48 (8,69) [+17,97%]	128,98 (4,48) [+28,43%]	125,07 (7,08) [+24,53%]
fl_c	210,39 (16,09)	209,43 (15,08) [-0,46%]	207,41 (14,79) [-1,42%]	212,89 (18,89) [+1,19%]
sd_c	130,65 (5,66)	126,64 (2,02) [-3,07%]	124,50 (2,75) [-4,71%]	124,19 (2,65) [-4,95%]

À l'observation des données de ce tableau, le lecteur constatera de nombreuses variations interindividuelles. En général, les sujets du groupe expérimental ont davantage fait varier leur F0 par rapport à la condition N1. D'un autre côté, il n'y a que le sujet fb_c du groupe contrôle qui a beaucoup modifié sa F0 dans les conditions P1, P2 et N2. On note aussi que la F0 des locuteurs masculins ac_e et dm_e est assez élevée par rapport aux locuteurs masculins de l'autre groupe.

Les tableaux suivants résument les résultats des *tests de Student pairés* qui ont été effectués sur les résultats acoustiques individuels.

Le tableau 4.7 permet de comparer les résultats obtenus en P1 à ceux obtenus en N1, il s'agit d'une mesure de l'effet de la perturbation et de la compensation qui s'en suit. On note que les paramètres F2 et F0 ont subi des modifications majeures dans les deux groupes tandis que F1 ne varie significativement que pour deux participants.

Tableau 4.7
Différences significatives observées en condition perturbée P1 par rapport aux valeurs de la condition normale préperturbation N1 pour la voyelle [u]
(*= $p<0.05$; **= $p<0.01$; ***= $p<0.001$)

Groupe	Sujet	F1	F2	F0
Expérimental	ac_e		↓*	↓*
	bt_e	↓*	↑***	↑***
	dm_e		↑***	↑***
	fg_e		↑***	
Contrôle	al_c		↑***	↑***
	fb_c			↑***
	fl_c			
	sd_c	↑***	↑***	↓**

Enfin, le tableau 4.8 permet de décrire les effets postperturbation et, en ce qui concerne le groupe expérimental, l'effet du feedback auditif sur la parole normale. Trois sujets du

groupe expérimental modifient significativement tous les paramètres entre les conditions N1 et N2, ce qu'aucun des participants entendants n'a fait.

Tableau 4.8
Différences significatives observées en condition normale postperturbation N2 par rapport aux valeurs de la condition normale préperturbation N1 pour la voyelle [u] (*= $p<0.05$; **= $p<0.01$; ***= $p<0.001$)

Groupe	Sujet	F1	F2	F0
Expérimental	ac_e	↓*	↓*	↓**
	bt_e	↓***	↑***	↑***
	dm_e		↑*	↑***
	fg_e	↓***	↓*	↑***
Contrôle	al_c	↑*		↑***
	fb_c			↑***
	fl_c			
	sd_c	↑***		↓***

Dans les pages suivantes, des figures représentant (a) les ellipses de dispersion sur le plan F2-F1, (b) les moyennes de fréquence fondamentales par condition, et (c)/(d) la différence en Bark des formants convergents F1-F2 pour chaque sujet seront présentées. Pour les ellipses de dispersion, l'analyse est ciblée sur les ellipses elles-mêmes et la distance entre les ellipses représentant les quatre conditions.

Deux concepts centraux permettent de qualifier ces formes, le contraste constitue la distance entre deux ellipses alors que la dispersion concerne l'étalement à l'intérieur d'une ellipse. La figure 4.4 représente les différents cas de figure des ellipses vocaliques sur un plan F1-F2. Les ellipses mauves représentent les conditions normales et celles oranges les conditions perturbées. Trois cas de figure se démarquent : 1) nulle, les ellipses ne se touchent pas; 2) partielle, les ellipses se chevauchent; 3) totale, les ellipses sont superposées. Nous serons en mesure d'observer le caractère plus ou moins complet de la compensation. Plus les

ellipses des conditions perturbées sont éloignées et différentes de celles en conditions normales, plus la compensation est incomplète.

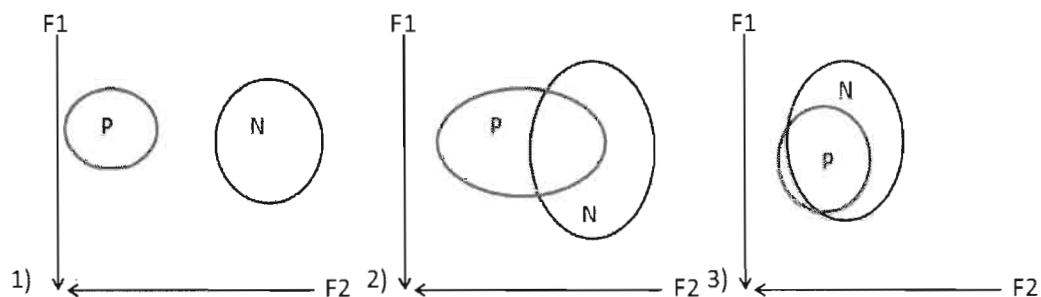


Figure 4.4 Cas de figure des types de compensations observées.

Tel qu'il a été mentionné à la section précédente, nous étudierons également l'effet postperturbation à la condition N2 pour chacun des sujets. Ici aussi, trois cas de figure se sont démarqués: 1) la parole demeure similaire à celle observée à P2, elle demeure perturbée; 2) il n'y a aucun effet postperturbation, la parole est similaire à N1; 3) le locuteur surcompense¹³ suite au retrait de la perturbation (*cf.* figure 4.5).

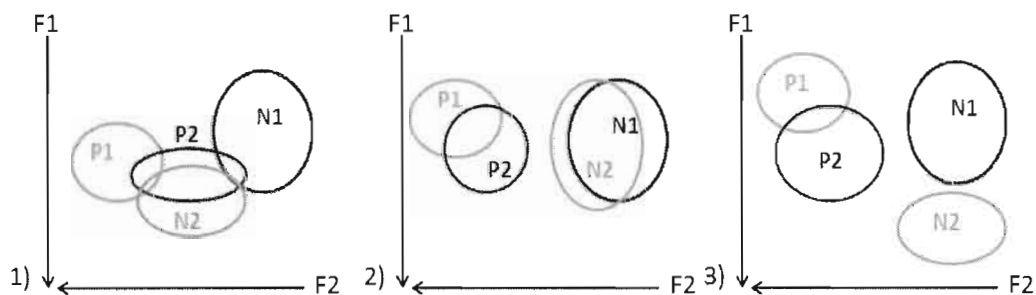


Figure 4.5 Cas de figure des effets postperturbatoires.

Enfin, même si l'évolution des variables au cours des 19 répétitions aurait pu être représentée dans des graphiques de type *coordonnées*, nous avons préféré la mettre en lumière dans des schémas linéaires. Les trajectoires offrent l'avantage d'illustrer clairement les effets d'apprentissage. À cet effet, les trajectoires seront qualifiées en fonction de deux critères: la distance entre elles et leur caractère plus ou moins régulier. Sur les deux

¹³ Aussi nommé *after-effect* dans la littérature.

graphiques seront présentées les trajectoires des conditions N1 et P1 d'une part et, d'autre part, les trajectoires des conditions P2 et N2. Une grande distance entre les trajectoires d'un graphique signifie donc une faible compensation alors qu'un chevauchement signifie une compensation davantage complète.

Les pages suivantes contiennent les graphiques de résultats acoustiques individuels pour les participants des deux groupes en commençant par les participants du groupe expérimental.

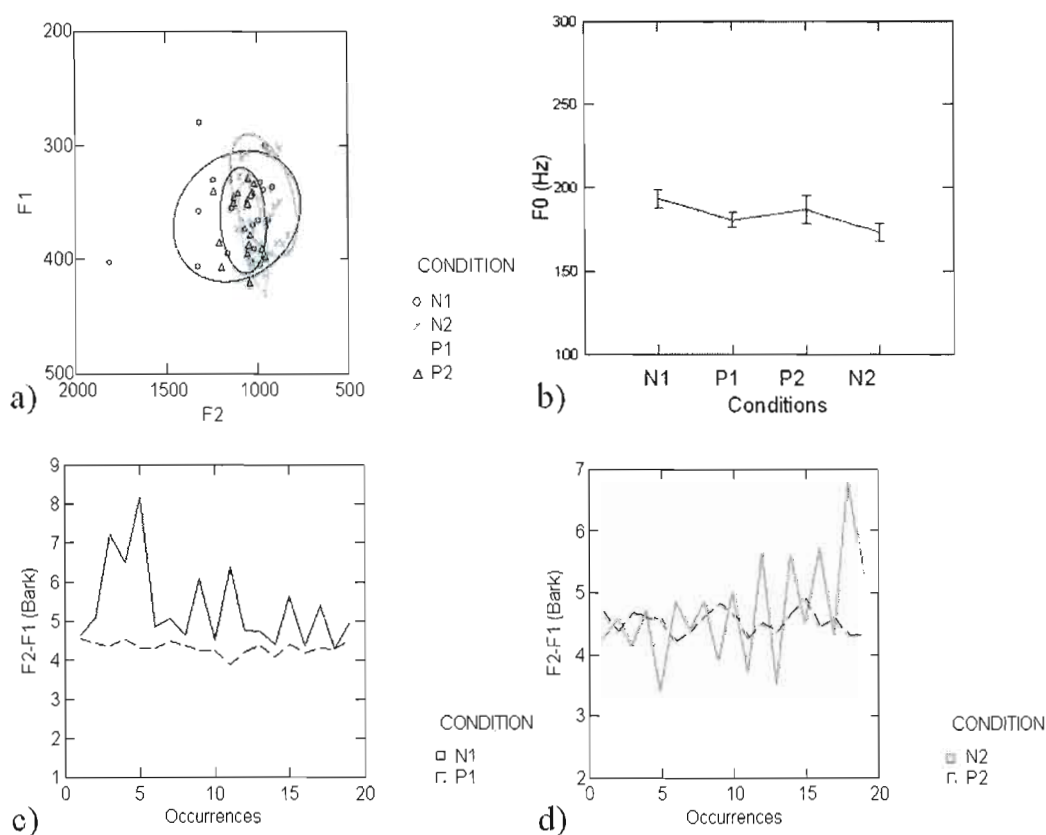


Figure 4.6 Résultats acoustiques pour la voyelle [u] du locuteur ac_e : a) Ellipses de dispersion sur le plan $F1$ vs $F2$, b) Moyennes de fréquence fondamentale par condition, c) et d) Évolution de la différence des formants 1 et 2, en Bark.

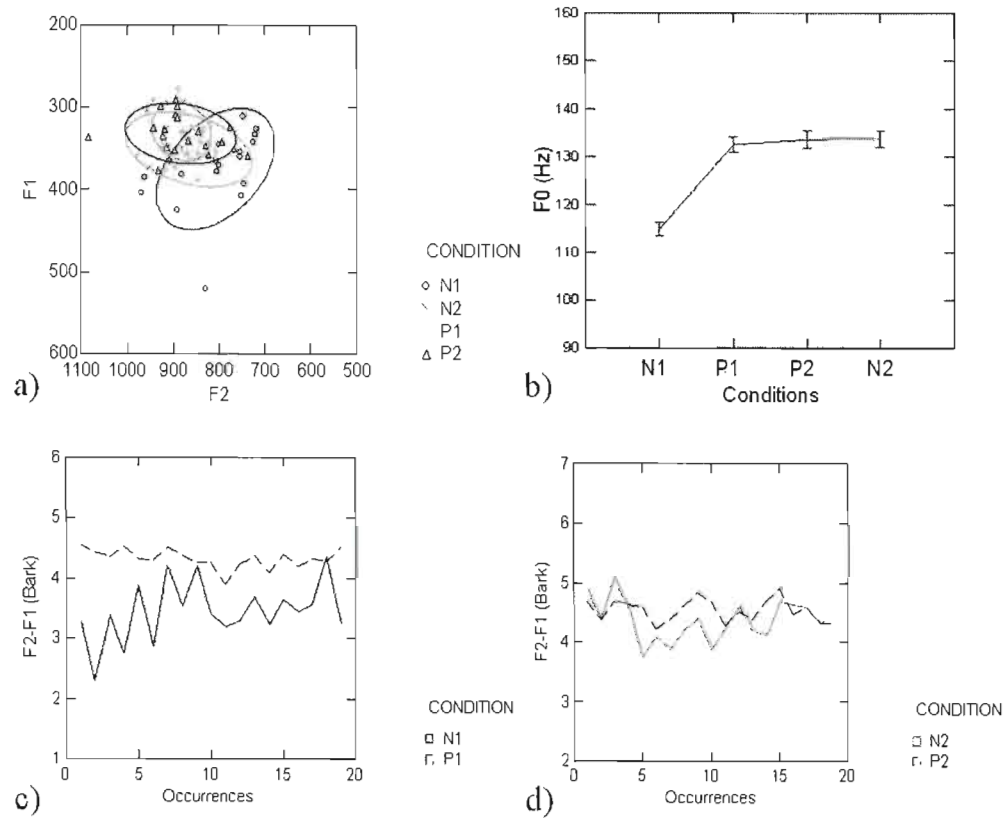


Figure 4.7 Résultats acoustiques pour la voyelle [u] du locuteur bt_e : a) Ellipses de dispersion sur le plan F1 vs F2, b) Moyennes de fréquence fondamentale par condition, c) et d) Évolution de la différence des formants 1 et 2, en Bark.

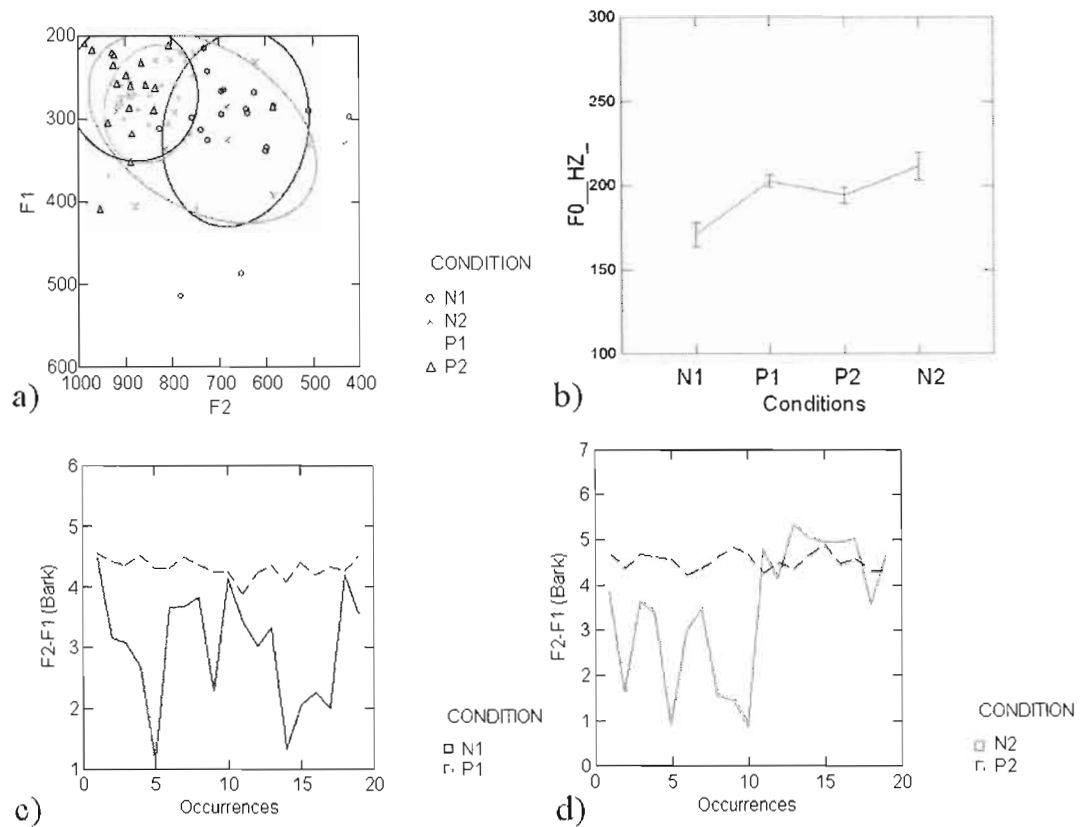


Figure 4.8 Résultats acoustiques pour la voyelle [u] du locuteur dm_e : a) Ellipses de dispersion sur le plan F1 vs F2, b) Moyennes de fréquence fondamentale par condition, c) et d) Évolution de la différence des formants 1 et 2, en Bark.

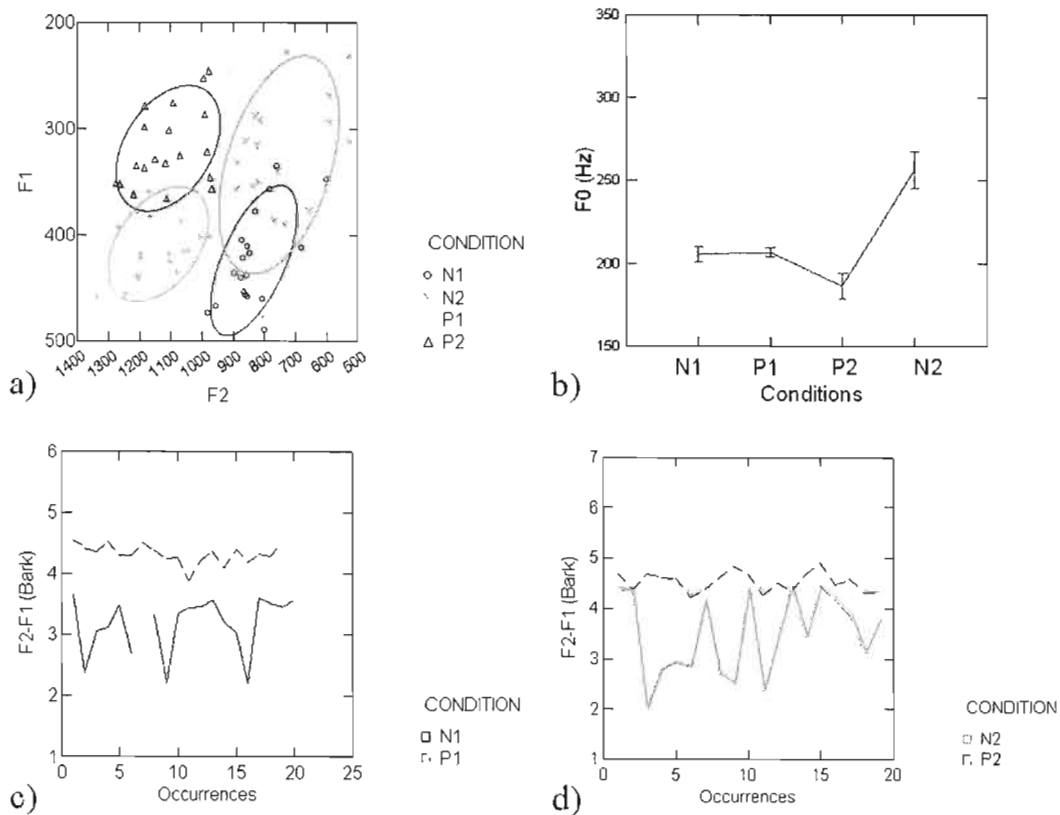


Figure 4.9 Résultats acoustiques pour la voyelle [u] de la locutrice *fg_e* : a) Ellipses de dispersion sur le plan F1 vs F2, b) Moyennes de fréquence fondamentale par condition, c) et d) Évolution de la différence des formants 1 et 2, en Bark.

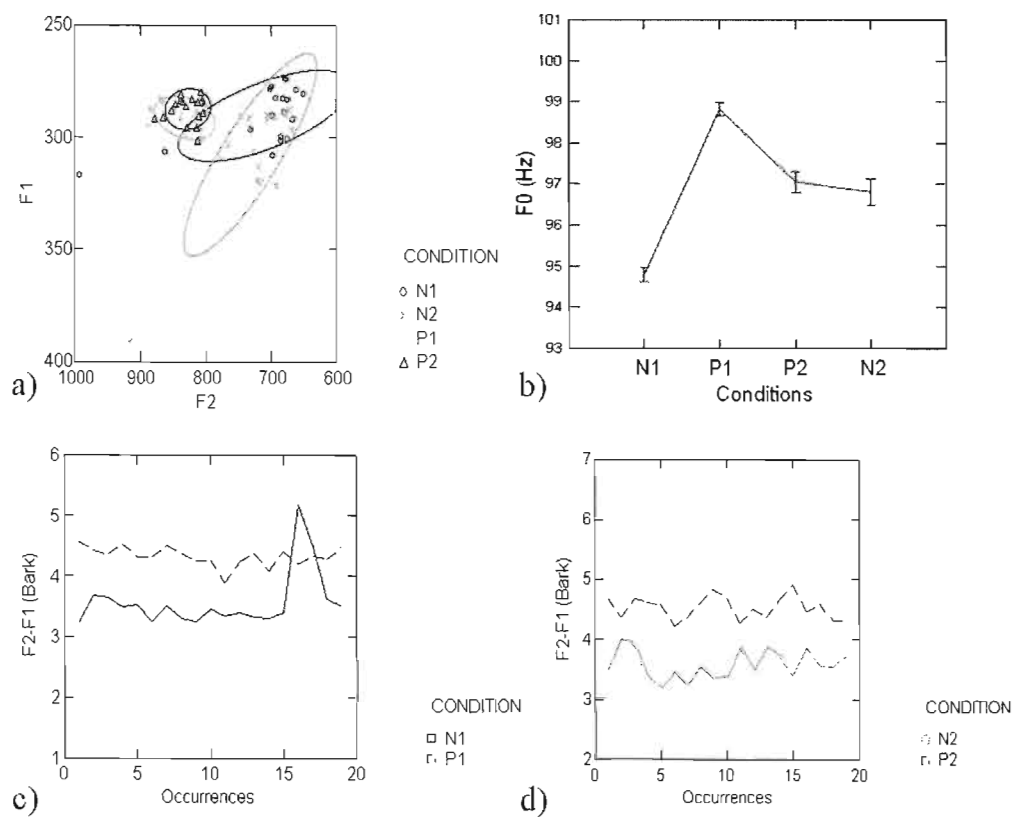


Figure 4.10 Résultats acoustiques pour la voyelle [u] du locuteur al_c : a) Ellipses de dispersion sur le plan F1 vs F2, b) Moyennes de fréquence fondamentale par condition, c) et d) Évolution de la différence des formants 1 et 2, en Bark.

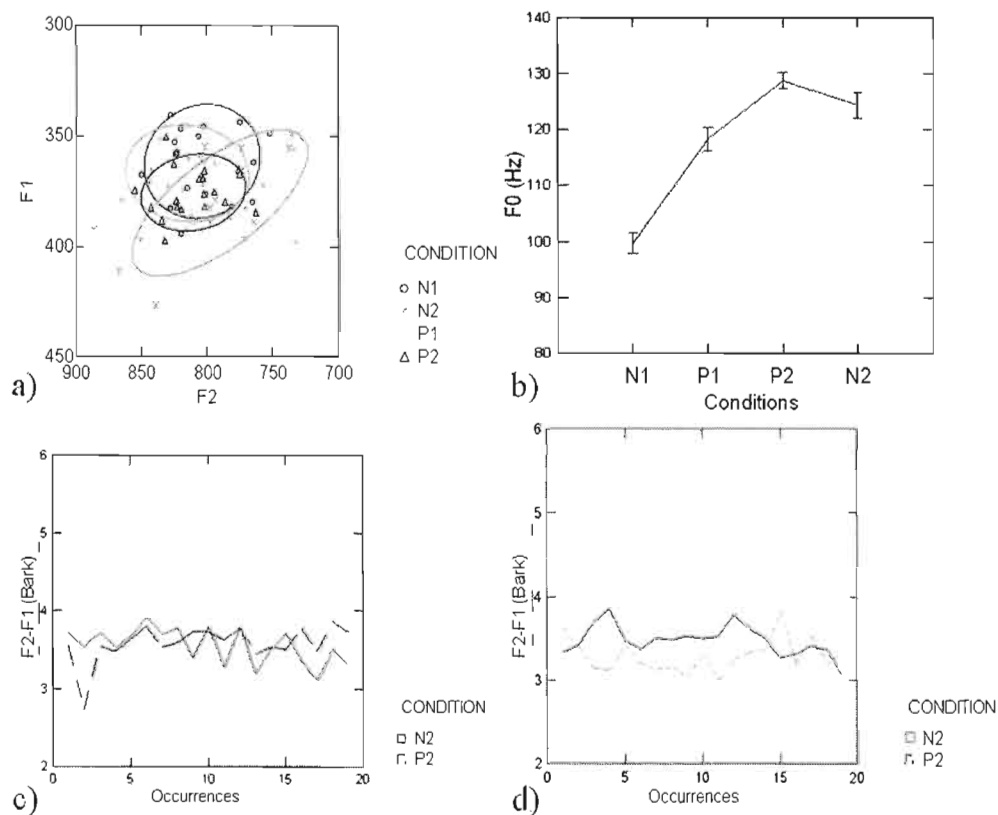


Figure 4.11 Résultats acoustiques pour la voyelle [u] du locuteur fb_c : a) Ellipses de dispersion sur le plan F1 vs F2, b) Moyennes de fréquence fondamentale par condition, c) et d) Évolution de la différence des formants 1 et 2, en Bark.

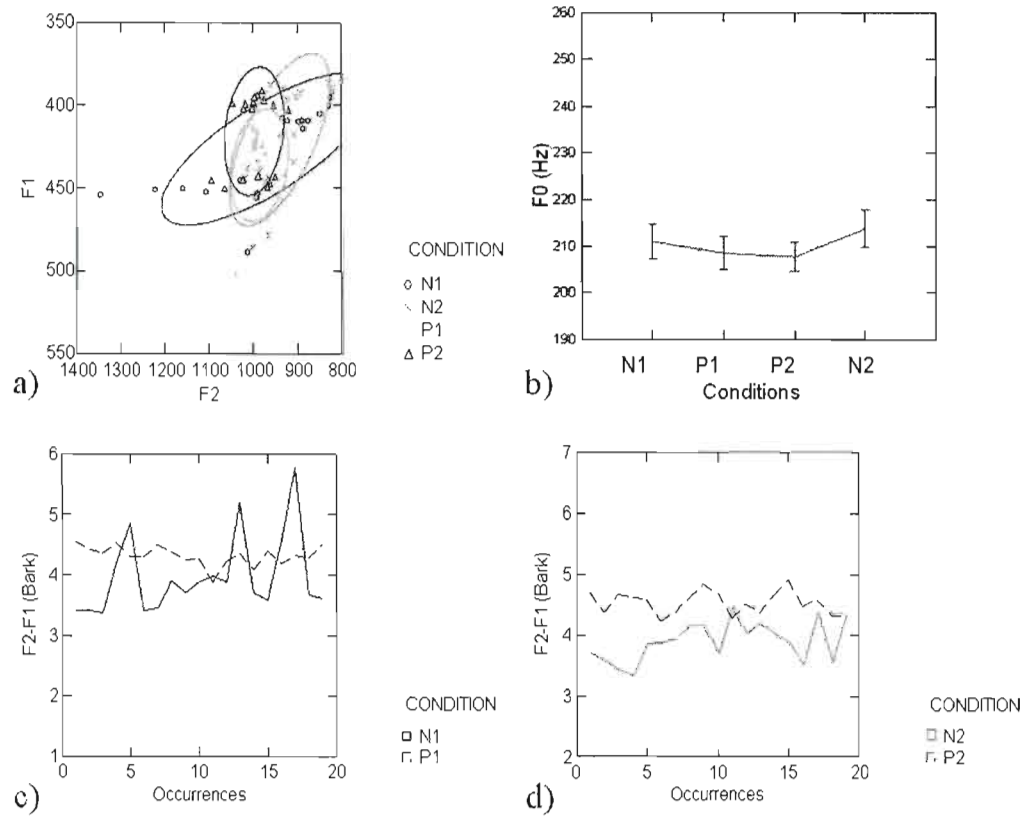


Figure 4.12 Résultats acoustiques pour la voyelle [u] du locuteur fl_c : a) Ellipses de dispersion sur le plan F1 vs F2, b) Moyennes de fréquence fondamentale par condition, c) et d) Évolution de la différence des formants 1 et 2, en Bark.

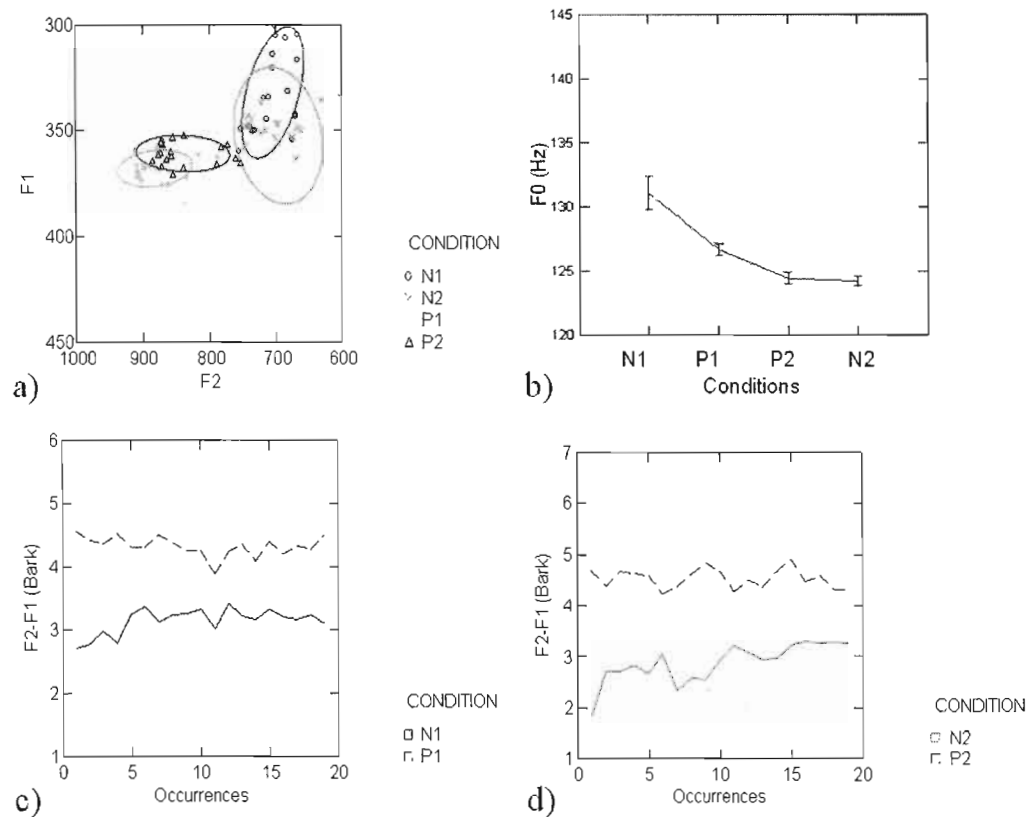


Figure 4.13 Résultats acoustiques pour la voyelle [u] du locuteur sd_c : a) Ellipses de dispersion sur le plan F1 vs F2, b) Moyennes de fréquence fondamentale par condition, c) et d) Évolution de la différence des formants 1 et 2, en Bark.

Le tableau suivant résume les résultats individuels des huit participants. Seule la participante fl_c a effectué une compensation complète sur un plan F1/F2. Par contre, les locuteurs bt_e et fb_c ont effectué une compensation partielle. De plus, les participants du groupe expérimental bt_e, dm_e et fg_e ont beaucoup fait varier la F0 en cours d'expérimentation, alors qu'uniquement la participante fl_c du groupe contrôle a modifié ce paramètre. On remarque aussi que les trajectoires de F2-F1 (Bark) varient beaucoup chez les sujets sourds alors qu'elles sont plutôt stables chez les sujets entendants. Aussi, tous les locuteurs sauf ac_e et bt_e en conditions P2 et N2 ont maintenu une distance entre les trajectoires perturbées et non-perturbées. Ce dernier résultat indique que la compensation ne serait pas basée uniquement sur la correction des paramètres F1/F2.

Tableau 4.9
Récapitulatif des résultats acoustiques individuels

		Plan F1/F2 a) Restructuration patron F1-F2 b) Effet postperturbation	Trajectoire F1-F2 a) Écarts entre les trajectoires b) variation
Participants	ac_e	a) P2 b) ↓ dispersion F2	a) P1 et N1 distants, P2 et N2 se chevauchent b) N1 et N2 varient
	bt_e	a) Partielle b) Surcompensation	a) P1 et N1 distants, P2 et N2 se chevauchent b) N1 fluctue
	dm_e	a) Aucune b) Retour progressif à N1	a) Distantes b) N1 et N2 varient
	fg_e	a) Aucune b) Surcompensation	Idem que le locuteur dm_e
	al_c	a) Aucune b) Aucun	a) Distants (P1 et P2 supérieurs à N1 et N2) b) Peu
	fb_c	a) Partielle b) Surcompensation	a) N1 et P1 se chevauchent, P2 légèrement supérieur à N2 b) N1 fluctue
	fl_c	a) Complète b) ↓ dispersion F2	a) Idem que al_c b) N1 fluctue
	sd_c	a) Aucune b) Aucun	Idem que al_c

4.1.3 La mesure auditive : une quantification perceptive des voyelles

Les analyses acoustiques nous ont permis de quantifier les modifications d'une condition à l'autre. Même si nous avons une idée concernant les capacités d'adaptation des locuteurs, cette idée demeure superficielle. La meilleure façon de vérifier si la cible phonémique est atteinte est de faire écouter les voyelles produites à un deuxième groupe de locuteurs. Par contrainte de temps, ce mémoire n'aborde pas cet aspect perceptif qui s'avère néanmoins utile pour comprendre le phénomène de compensation articulatoire. Cependant, tel que démontré par Savariaux *et al.* (1999), il existe une mesure auditive qui constitue un excellent corrélat de la perception de [u]. Cette mesure prend en compte les deux premiers formants ainsi que la fréquence fondamentale, sa formule, toutes les valeurs en Bark, est la suivante : $((F2-F0)+F1)/2$. Selon Savariaux *et al.*, les [u] ayant une valeur inférieure à 4,75 Bark sont

généralement perçus comme étant normaux, ceux ayant une valeur entre 4,75 et 5,25 Bark comme étant de mauvais [u], et ceux ayant une valeur supérieure à 5,25 Bark comme ne faisant pas parti de cette classe de phonème.

Nous avons calculé cette valeur pour tous les locuteurs des deux groupes et nous avons compilé les moyennes par condition dans les deux figures suivantes.

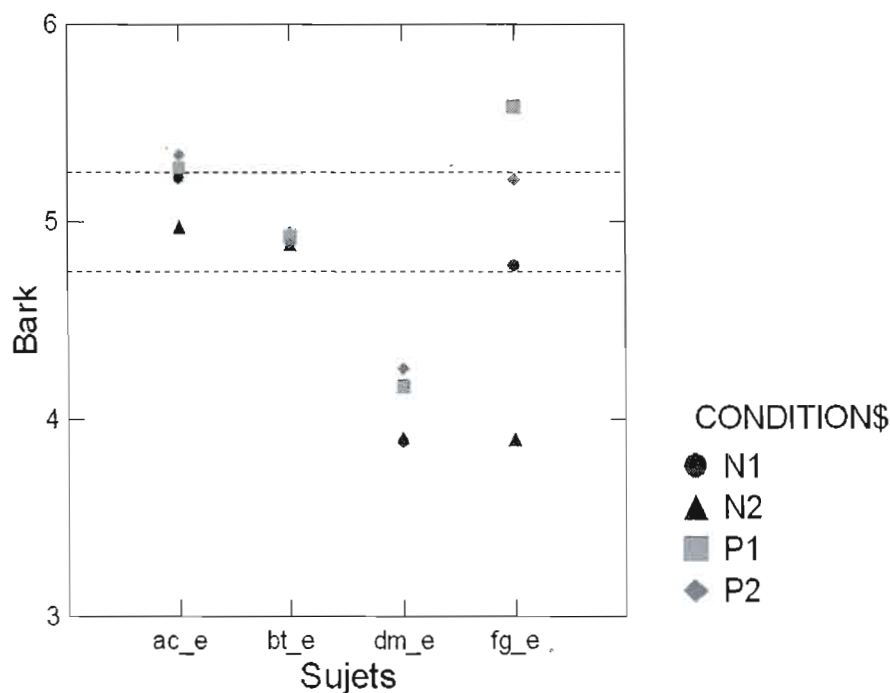


Figure 4.14 Valeurs de la mesure perceptive (Bark) pour le groupe expérimental, par sujet et pour les conditions N1 (préperturbation), P1 et P2 (perturbées) et N2 (postperturbation).

Pour les locuteurs ac_e, dm_e et fg_e, la qualité des [u] se dégrade aux conditions P1 et P2. Le locuteur bt_e semble compenser parfaitement, car la qualité des voyelles qu'il produit n'est en aucun cas altérée. On remarque que même si le locuteur dm_e n'a pas compensé à la perturbation sur un plan F1/F2 (cf. tableau 4.1), la qualité de ses voyelles demeure bonne (en dessous de 4,75 Bark). La locutrice fg_e améliore considérablement la qualité de ses [u] en P2 par rapport à P1. Enfin, il est très intéressant de constater que la valeur de la mesure perceptive diminue en condition N2 pour les locuteurs ac_e et fg_e, ce qui démontre que la qualité des voyelles s'améliore en condition normale si leur implant est allumé.

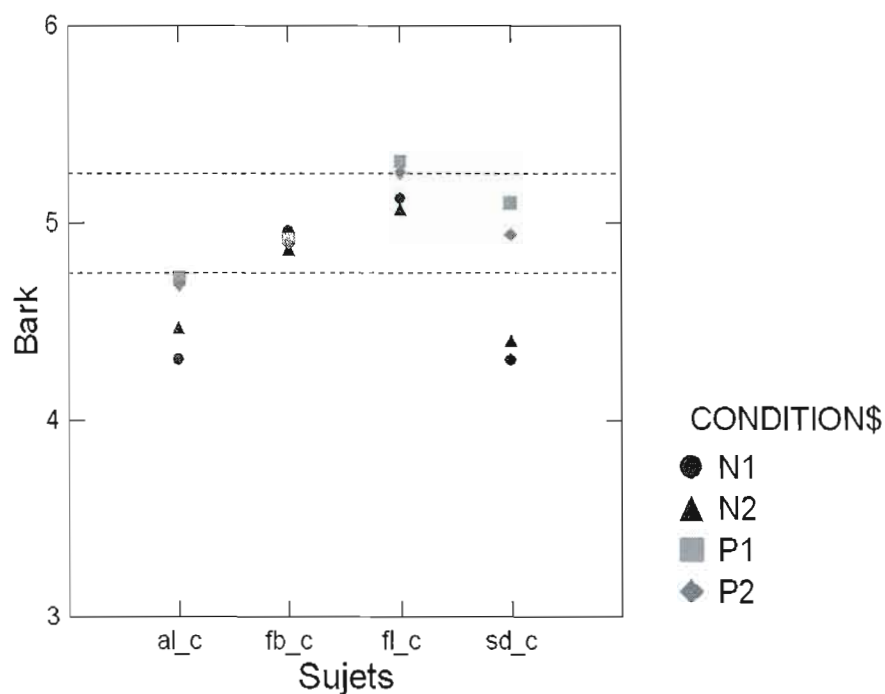


Figure 4.15 Valeurs de la mesure perceptive (Bark) pour le groupe contrôle, par sujet et pour les conditions N1 (préperturbation), P1 et P2 (perturbées) et N2 (postperturbation).

En ce qui concerne le groupe contrôle, pour les locuteurs al_c, fl_c et sd_c, la qualité des [u] se dégrade dans les conditions perturbées. Par contre, elle demeure dans la catégorie des [u] pour al_c et sd_c. Selon ce graphique, le locuteur fb_c est le seul de ce groupe à avoir compensé totalement. Enfin, un léger effet postperturbation est observé pour les locuteurs al_c et sd_c.

Il est intéressant de souligner que les locuteurs du groupe expérimental sont ceux qui produisent des /u/ correspondant aux valeurs les plus petites (inférieures à 4), par rapport aux sujets contrôles. Ils semblent donc user un peu plus de cette dimension perceptive.

4.2 Description des données articulatoires

Les résultats des données articulatoires seront maintenant présentés. Rappelons que les quatre paramètres à l'étude sont l'asymétrie, la courbure, et les coordonnées x/y du point le plus haut sur le contour de la langue. La figure 4.1 illustre le triangle formé par le programme

LINGUA pour analyser les contours de langues. La ligne pointillée représente le contour de la langue en coupe sagittale, l'apex à l'extrémité droite et la racine à gauche. L'asymétrie est un indice d'antéro-postériorité de la langue et correspond au ratio entre les droites AD et DB sur la figure suivante. Lorsque sa valeur diminue, la position de la langue est plus arrière, plus postérieure. La courbure correspond au ratio entre les droites AB et CD. Quand elle augmente, cela indique une diminution de la courbure. Inversement, quand elle diminue, la courbure est plus prononcée. C'est une relation inverse entre la donnée quantitative de courbure et la courbure physique de la langue. Des analyses discriminantes ont révélé que les facteurs *asymétrie* et *courbure* permettent de classer correctement à 65% les sujets dans leurs groupes respectifs et à 52% les occurrences produites en conditions perturbées versus celles produites en conditions normales.

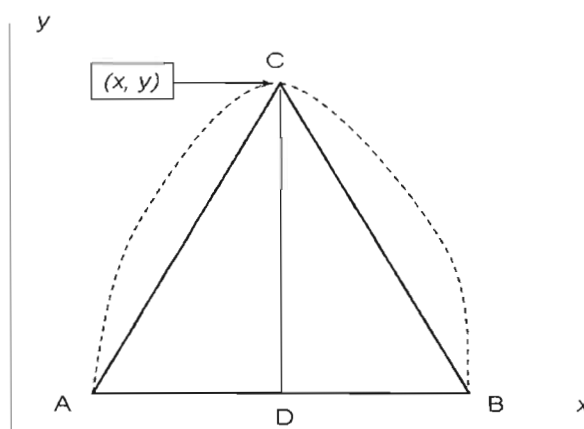


Figure 4.16 Triangle formé par le programme *LINGUA*.

Le x_de_ymax (aussi présent à la figure 4.16) indique le déplacement du point le plus haut sur l'axe des ordonnées (x) et correspond au trait d'antéro-postériorité de la langue. Plus la valeur est élevée, plus ce point est antérieur (avant) et plus la valeur est basse, plus il est postérieur (arrière). Enfin, la variable y_de_ymax représente directement la variation du point le plus haut de la langue (y) sur l'axe des abscisses (y). Des analyses discriminantes ont révélé que les facteurs x_de_ymax et y_de_ymax permettent de classer correctement à 60% les sujets dans leurs groupes respectifs et à 52% les occurrences produites en conditions perturbées versus celles produites en conditions normales.

4.2.1 Données groupées

Nous analyserons d'abord les données groupées en commençant par le paramètre de l'asymétrie. À la figure 4.17, on observe que, d'un côté, les participants du groupe contrôle ont diminué ce paramètre dans toutes les conditions, alors que ceux du groupe expérimental l'ont augmenté dans les conditions P1 et P2. La diminution de ce paramètre s'apparente à un comportement compensatoire optimal, le recul de la masse linguale, en réponse à la perturbation du tube labial.

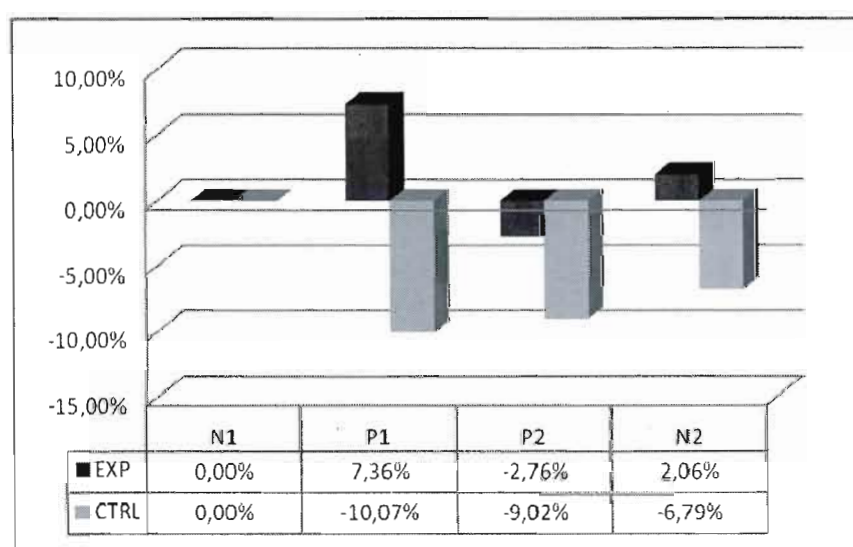


Figure 4.17 Moyenne des variations en % (/N1) de l'asymétrie pour les deux groupes et pour les conditions N1 (préperturbation), P1 et P2 (perturbées), et N2 (postperturbation).

Si on examine la figure 4.18, tous les participants ont augmenté le paramètre de courbure dans les conditions P1, P2 et N2. Les sujets sourds ont néanmoins davantage augmenté ce paramètre de façon graduelle de P1 à N2. Les sujets entendants semblent par ailleurs l'avoir augmenté plus particulièrement en condition P2, il s'agirait probablement d'une manifestation de l'adaptation de leurs stratégies articulatoires.

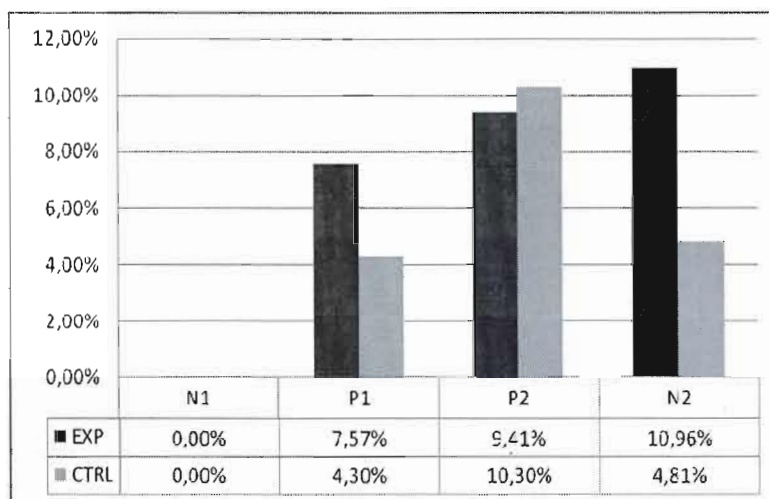


Figure 4.18 Moyenne des variations en % (N1) de la courbure pour les deux groupes et pour les conditions N1 (préperturbation), P1 et P2 (perturbées), et N2 (postperturbation).

Dû à des écarts types très élevés, aucune différence significative n'est ressortie des ANOVAs à mesures répétées pour les variables de l'asymétrie et de la courbure. Les résultats de cette analyse figurent en annexe C.

Passons maintenant aux résultats concernant les coordonnées du point maximal de la langue. On peut voir à la figure 4.19 que tous les locuteurs des deux groupes ont diminué ce point (y_{de_ymax}). Cette diminution est d'autant plus forte chez le groupe expérimental que le groupe contrôle. Aussi, on remarque que le groupe contrôle diminue ce paramètre seulement dans les conditions perturbées, alors que le groupe expérimental conserve cette stratégie articulatoire une fois la perturbation retirée. Aucune différence significative n'a été observée (cf. Annexe C).

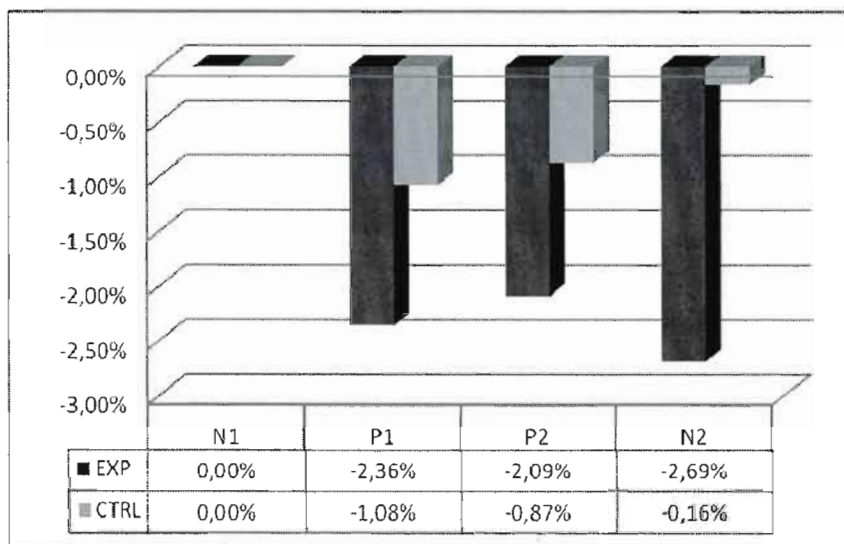


Figure 4.19 Moyenne des variations en % (/N1) de y_de_ymax pour les deux groupes et pour les conditions N1 (préperturbation), P1 et P2 (perturbées), et N2 (postperturbation) (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

Enfin, en ce qui concerne la variation de la valeur du x_de_ymax , qui correspond au trait d'antéro-postériorité de la langue, des différences notables ont été observées (figure 4.20), selon le groupe et la condition. D'abord, les participants entendants ont diminué ce paramètre, (i.e. ils ont reculé la langue), en conditions P1 et P2. Ce résultat indique un comportement compensatoire lingual. D'un autre côté, les participants sourds ont beaucoup moins diminué ce paramètre en condition perturbée, et l'ont modifié davantage en P2, mais surtout en N2.

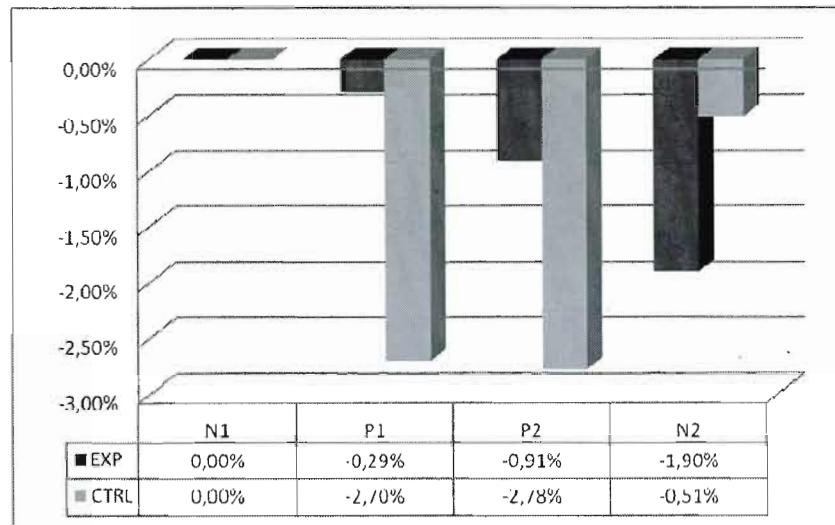


Figure 4.20 Moyenne des variations en % (/N1) de x_de_ymax pour les deux groupes et pour les conditions N1 (préperturbation), P1 et P2 (perturbées), et N2 (postperturbation) (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

Une ANOVA à mesures répétées ayant pour facteur le *groupe* et comme variables indépendantes *conditions* et *occurrences* a révélé un effet significatif de la condition ($F(3,18)=5,46$; $p < 0,01$) et une interaction *condition*groupe* ($F(3,18)=6,03$; $p < 0,01$). Le tableau 4.10 détaille les résultats de cette analyse statistique. Des tests *post hoc* ont révélé que les différences entre les conditions perturbées (P1-P2) et la condition préperturbation (N1) pour le groupe contrôle sont significatives ($p < 0,05$).

Tableau 4.10

ANOVA sur le pourcentage de changement de x_de_ymax lors des conditions P1-P2 (perturbées) et N2 (postperturbation) par rapport à la condition N1 (préperturbation) au cours des 19 répétitions pour les deux groupes de sujets (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

	Degrés de liberté	F	P
Groupe	1,6	1.065	0.342
Conditions	3,18	5.457	0.008**
Conditions*Groupe	3,18	6.026	0.005**
Occurrences	18,108	1.559	0.084
Occurrences*Groupe	18,108	0.863	0.623
Conditions*Occurrences	54,324	1.087	0.325
Condition*Occurrences*Groupe	54,324	0.885	0.702

4.2.2 Données individuelles

Pour chaque participant, deux espaces articulatoires des coordonnées du point maximal de la langue et de l'asymétrie et la courbure seront maintenant présentés. Le lecteur pourra constater que de nombreuses stratégies articulatoires ont été utilisées par les participants. Les résultats d'analyses discriminantes permettent d'avoir un regard éclairé sur les résultats par sujets puisqu'elles permettent de valider les différences observées, mais ne constituent pas le propos principal et figurent en annexe C.

Les graphiques suivants incluent les 19 occurrences de la voyelle [u] produites dans les quatre conditions N1, P1, P2 et N2 par sujet.

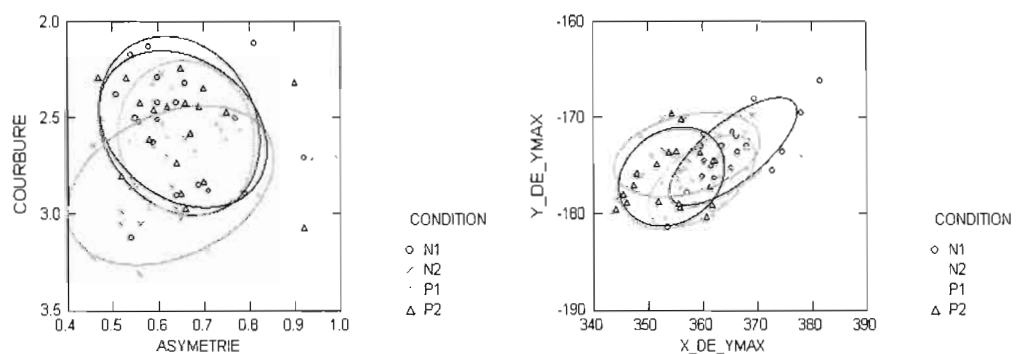


Figure 4.21 Formes et positions de la langue pour le locuteur ac_e.

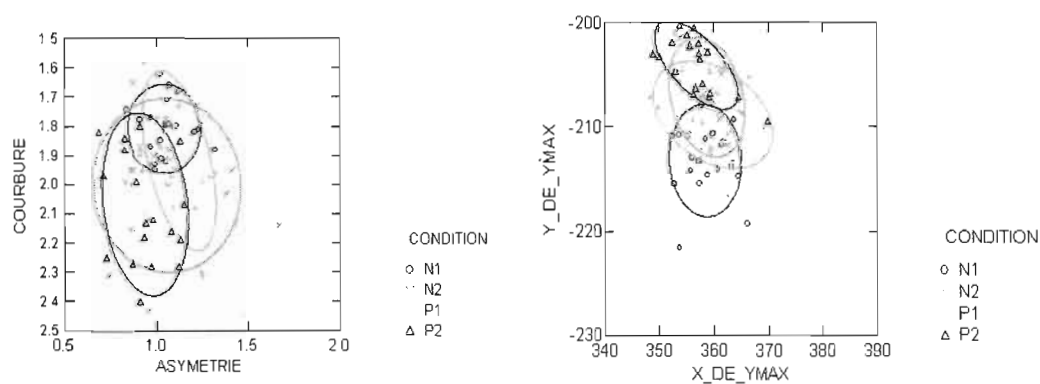


Figure 4.22 Formes et positions de la langue pour le locuteur bt_e.

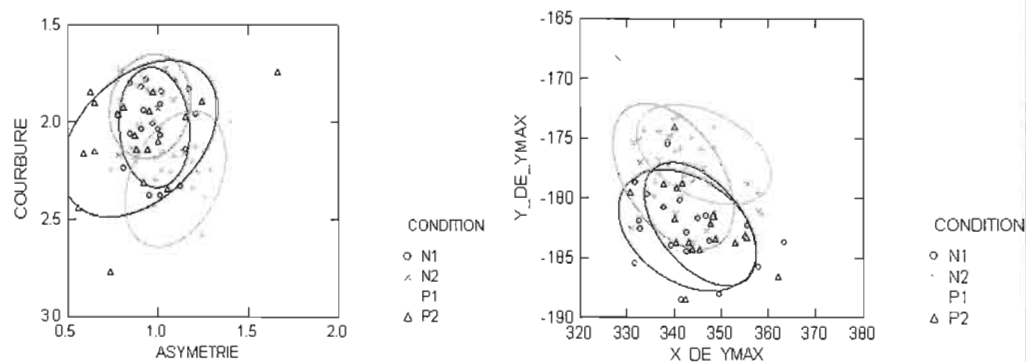


Figure 4.23 Formes et positions de la langue pour le locuteur *dm_e*.

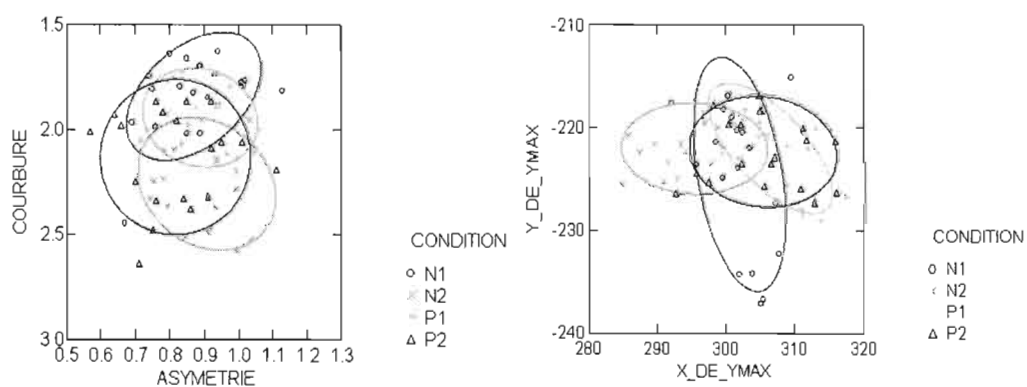


Figure 4.24 Formes et positions de la langue pour la locutrice *fg_e*.

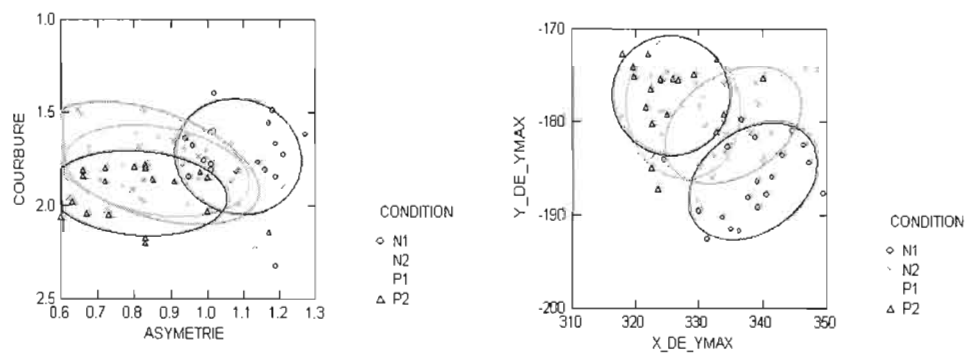


Figure 4.25 Formes et positions de la langue pour le locuteur *al_c*.

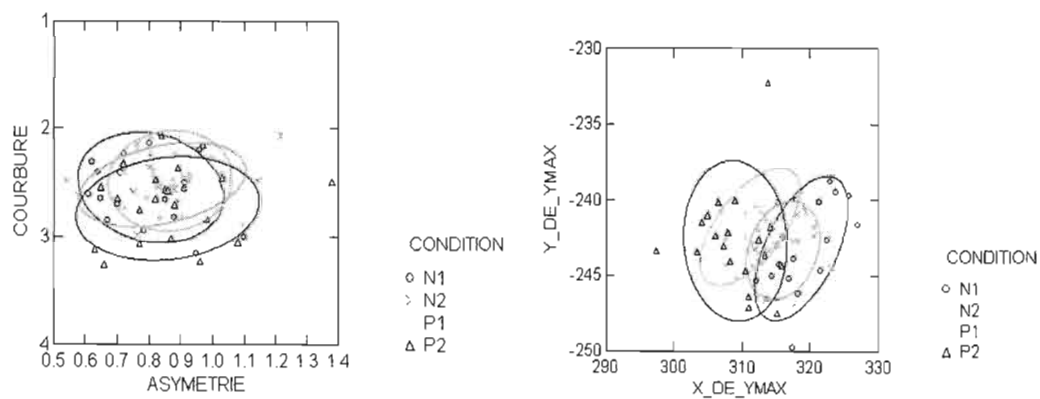


Figure 4.26 Formes et positions de la langue pour le locuteur fb_c.

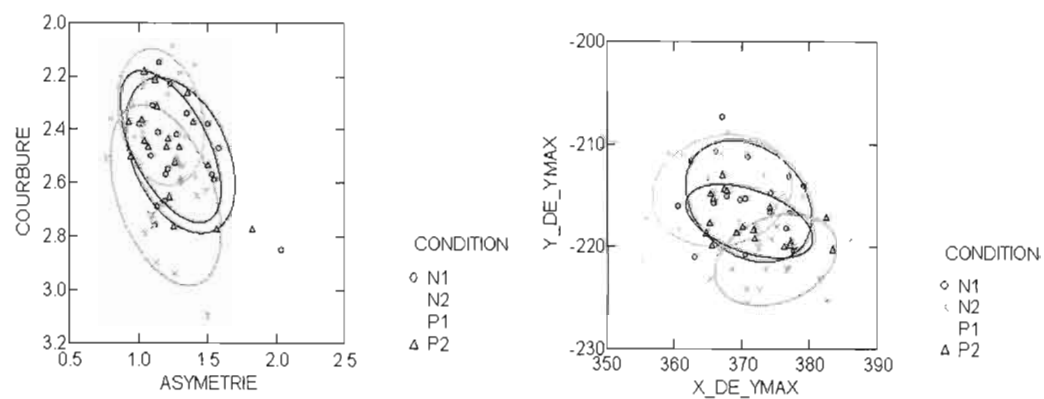


Figure 4.27 Formes et positions de la langue pour la locutrice fl_c.

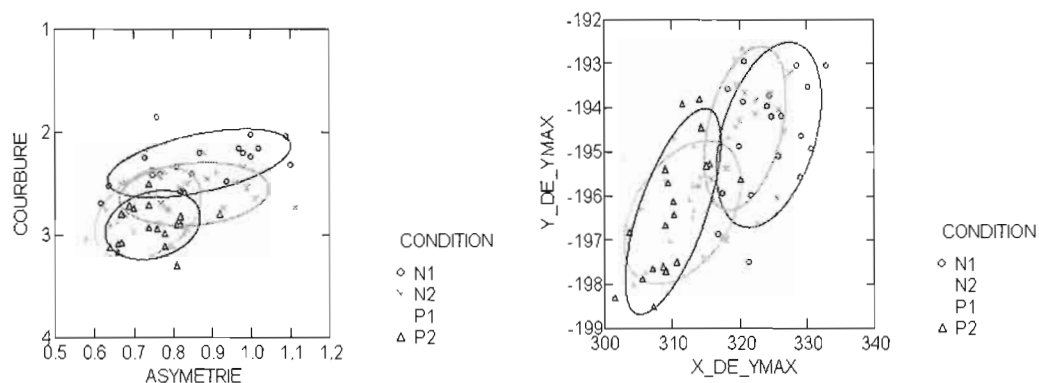


Figure 4.28 Formes et positions de la langue pour le locuteur sd_c.

Les tableaux suivants indiquent les résultats significatifs des *tests de Student* *paillés* pour les paramètres articulatoires.

Tableau 4.11
Différences significatives observées en condition perturbée P1 par rapport aux valeurs de la condition normale préperturbation N1 pour la voyelle [u] (*= $p < 0.05$; **= $p < 0.01$; ***= $p < 0.001$)

Groupe	Sujet	Asymétrie	Courbure	y_de_ymax	x_de_ymax
Expérimental	ac_e			↑**	←***
	bt_e		↑**	↓*	
	dm_e				
	fg_e		↑***	↑***	→***
Contrôle	al_c	←***	↑**	↓***	←***
	fb_c		↓*	↑*	←***
	fl_c	←*	↓**		←*
	sd_c	←**	↑***	↑***	←***

Les participants du groupe contrôle ont davantage modifié leurs stratégies articulatoires pour la condition perturbée P1 que l'ont fait les participants du groupe expérimental. Les quatre sujets entendants ont modifié au moins trois paramètres de façon significative alors

que seul la participante fg_e a modifié plus de deux paramètres. Aussi, on remarque que l'*asymétrie* et le *x_de_ymax*, lorsque modifiés, sont systématiquement reculés, sauf pour fg_e, ce qui indique une tentative d'ajustement à la perturbation. Le *y_de_ymax* a été augmenté chez cinq des six participants l'ayant fait varier. Rappelons que, selon les études de Savariaux *et al.* (1995, 1999), la stratégie optimale de compensation est la postériorisation du lieu de constriction de la langue.

Le tableau 4.12 qui compile les différences entre les conditions P1 et P2 nous apprend que les locuteurs sourds n'ayant pas modifié l'*asymétrie* en P1 l'ont reculé en condition P2, c'est-à-dire lorsque leur implant était allumé. D'un autre côté, les participants entendants ont très peu modifié leurs stratégies entre P1 et P2.

Tableau 4.12
Différences significatives observées en condition perturbée P2 par rapport aux valeurs de la condition perturbée P1 pour la voyelle [u] (*= $p<0.05$; **= $p<0.01$; ***= $p<0.001$)

Groupe	Sujet	Asymétrie	Courbure	y_de_ymax	x_de_ymax
Expérimental	ac_e				←**
	bt_e	←***	↑*		
	dm_e	←**	↓**	↓***	
	fg_e	←*	↑***		
Contrôle	al_c		↑*		
	fb_c		↑**		←*
	fl_c		↑*		→*
	sd_c				

Ce dernier tableau vise à comparer s'il existe des différences entre la parole normale avec (N2) et sans (N1) feedback auditif chez le groupe expérimental. D'un autre côté, nous mesurons également l'impact d'une tâche d'adaptation articulatoire sur la parole chez les deux groupes de sujets.

Tableau 4.13
Différences significatives observées en condition normale postperturbation N2
par rapport aux valeurs de la condition normale préperturbation N1 pour la
voyelle [u] (*= $p<0.05$; **= $p<0.01$; ***= $p<0.001$)

Groupe	Sujet	Asymétrie	Courbure	y_de_ymax	x_de_ymax
Expérimental	ac_e		↑**		←***
	bt_e		↑**		
	dm_e			↑***	
	fg_e		↑***		←**
Contrôle	al_c	←***		↑***	
	fb_c				←*
	fl_c		↑**	↓***	→**
	sd_c		↑**		←**

Contrairement à nos attentes, il y a autant de variation chez le groupe contrôle qu'expérimental. Cinq participants, ac_e, bt_e, fg_e, fl_c et sd_c ont augmenté la *courbure* et le *x_de_ymax* a été reculé chez ac_e, fg_e, fb_c et sd_c. Ces deux derniers paramètres sont ceux ayant subi le plus modification entre les conditions N2 et N1.

4.3 Conclusion

Ce chapitre a permis de mettre en lumière les facteurs acoustiques et articulatoires affectés par le tube labial et les modifications requises pour compenser à cette perturbation.

Nous avons vu que la fréquence fondamentale est le paramètre acoustique le plus affecté par la perturbation, suivie de près par F2. Sur le plan F1/F2, seulement un locuteur a réussi à effectuer une compensation complète et deux une compensation partielle. Les différences intergroupes sont d'abord ressorties pour le paramètre F1, mais on remarque aussi que les différences entre les conditions N1 et N2 sont plus fortes chez le groupe expérimental que chez le groupe contrôle.

En ce qui concerne les résultats articulatoires, les données groupées ont révélées un effet significatif de la condition sur le x_de_ymax pour le groupe contrôle. En nous attardant aux comportements de chacun des locuteurs, nous avons relevé qu'en condition perturbé un recul de x_de_ymax a été la stratégie la plus adoptée pour réagir à la perturbation labiale. Enfin, on remarque que les entendants modifient plus rapidement leur articulation en condition perturbée que le font les sourds.

La chapitre de la discussion permettra de lier les résultats acoustique et articulatoire afin de mieux évaluer si les compensations se sont effectuées et mieux comprendre s'il y a eu des effets des variations de feedback auditif chez le groupe de sourds. Mais avant de passer à cette analyse approfondie, les données perceptives seront présentées pour qualifier et quantifier la perception du phonème [u] chez les participants.

CHAPITRE V

ANALYSE DES DONNÉES PERCEPTIVES

Jusqu'à présent, nous avons concentré notre analyse sur les manifestations acoustiques et articulatoires de la parole produite. Nous avons ainsi observé les modifications provoquées par la perte auditive chez un groupe de sourds ayant un implant cochléaire. Puisque les participants sourds ont un handicap sévère, nous sommes en mesure de croire que les différences observées entre les deux groupes de participants sont causées par l'état de feedback auditif au moment de l'enregistrement. Nos hypothèses allaient plus en profondeur et nous croyons que les mécanismes de perception de la parole sont fondamentalement liés à ceux de la production. Les questions liées au feedback afférent sont donc englobées par ce postulat. Ce n'est pas uniquement les changements dans l'information entrante qui modulent la production de la parole, c'est surtout les représentations perceptives, plus cristallisées, qui interagissent avec le système effecteur langagier. Ce chapitre s'attarde particulièrement à la perception de la voyelle [u] chez les participants sourds et entendants. Nous comparerons la perception de [u] chez les deux groupes et tenterons d'évaluer les effets d'une tâche de production de la parole sur la perception de ce phonème.

5.1 Données groupées

Rappelons que le test de perception est construit d'un continuum de 11 voyelles dont [u] et [o] sont les extrémités. Les participants ont identifié si la voyelle entendue était [u] ou [o]

et ils l'ont fait cinq fois pour chaque voyelle. Aussi, le test a été effectué deux fois, une avant la tâche de production et une après. Nous nous intéresserons à la variation dans les réponses selon le groupe, selon le test (pré ou post) et selon les stimuli. Nous avons calculé la moyenne et les écarts types en % de réponses [u] pour chaque stimulus. La frontière catégorielle à 50% de réponse a aussi été déterminée. Pour des raisons techniques, les données de la locutrice fg_e ont été exclues et, dans cette section, le groupe expérimental est composé des locuteurs ac_e, bt_e, dm_e et sb_e.

La figure suivante illustre un exemple de courbe catégorielle et la valeur du stimulus à 50% de réponse. Nous considérerons cette dernière valeur comme étant la frontière qui sépare ce qui est perçu comme un [u] et ce qui est perçu comme un [o]. La figure suivante représente un exemple des données perceptives.

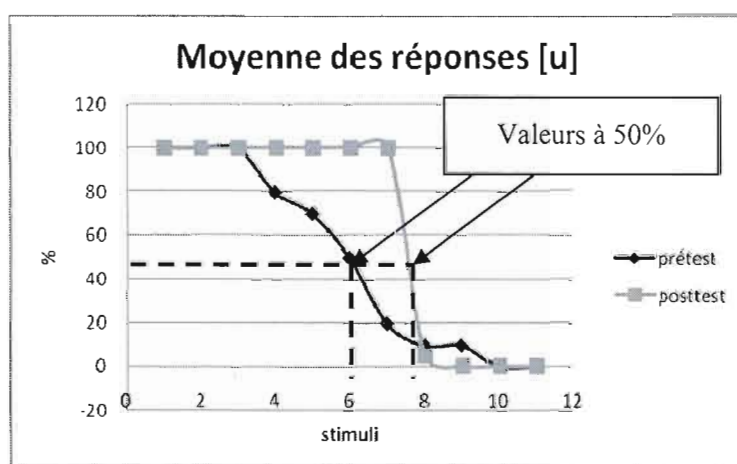


Figure 5.1 Exemple de données perceptives (sur l'axe x : [u]=1, [o]=11).

Sur ce graphique, on observe que la valeur à 50% de reconnaissance pour le prétest est inférieure à celle en posttest. Cela signifie que la frontière catégorielle en posttest s'est déplacée en faveur de la reconnaissance du [o]. En d'autres mots, selon l'axe F1 qui varie de /u/ à /o/, la catégorie /u/ est devenue relativement plus petite en posttest. Aussi, on remarque que la pente en prétest est plutôt douce alors qu'elle est plus abrupte en posttest. On dira que la perception du locuteur en posttest est plus catégorielle qu'en prétest. La valeur à 50% a été calculée pour les deux tests à l'aide de la formule suivante :

$$_x S_i + ((_x S_j - _x S_i) (50 - y S_i) / (y S_j - y S_i)),$$

où S_i et S_j sont les stimuli (x) entre lesquels la valeur de y (% de réponse [u]) passe à 50%.

Les tableaux et graphiques suivants comprennent les moyennes de réponses [u] pour chaque voyelle du continuum et pour les deux groupes.

Tableau 5.1
Résultats moyens et écarts types (% réponses [u]) aux tests de perception pour le groupe contrôle ([u]= 1, [o]= 11)

stimuli	test	réponse	écart type	test	réponse	écart type
1	pré	100	0	post	100	0
2	pré	100	0	post	100	0
3	pré	100	0	post	100	0
4	pré	100	0	post	100	0
5	pré	100	0	post	100	0
6	pré	85	36,6	post	85	36,6
7	pré	85	36,6	post	85	36,6
8	pré	50	51,3	post	8	44,4
9	pré	5	22,4	post	15	36,6
10	pré	5	22,4	post	5	22,4
11	pré	0	0	post	0	0

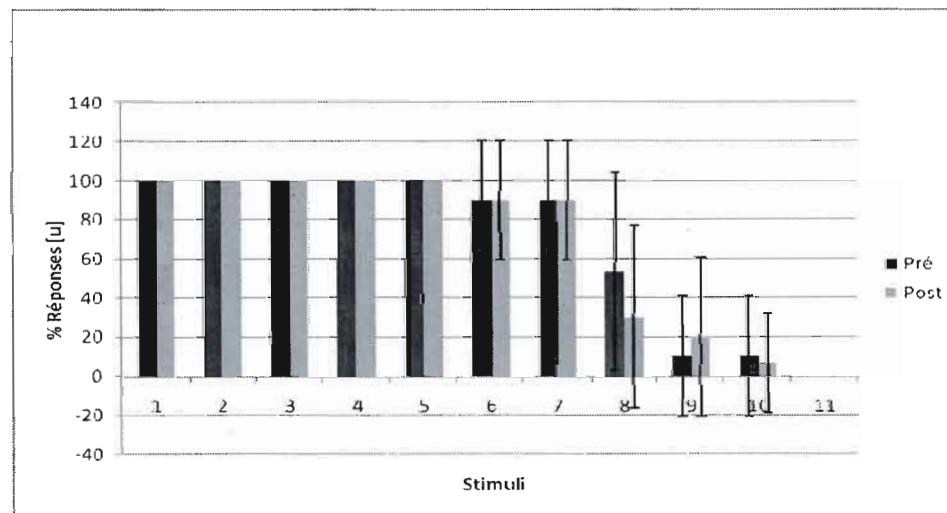


Figure 5.2 Moyenne de pourcentage de réponses [u] pour chaque voyelle pour le groupe contrôle ([u]= 1, [o]= 11).

Tableau 5.2
Résultats moyens et écarts types (% réponses [u]) aux tests de perception pour le groupe expérimental ([u]= 1, [o]= 11)

stimuli	test	réponse	(écart type)	test	réponse	(écart type)
1	pré	50	(51,3)	post	70	(47,0)
2	pré	70	(47,0)	post	70	(47,0)
3	pré	45	(51,0)	post	63	(49,6)
4	pré	65	(48,9)	post	80	(41,0)
5	pré	60	(50,3)	post	60	(50,3)
6	pré	50	(51,3)	post	50	(51,3)
7	pré	45	(51,0)	post	45	(51,0)
8	pré	30	(47,0)	post	8	(47,0)
9	pré	35	(48,9)	post	30	(47,0)
10	pré	40	(50,3)	post	40	(50,3)
11	pré	50	(51,3)	post	20	(41,0)

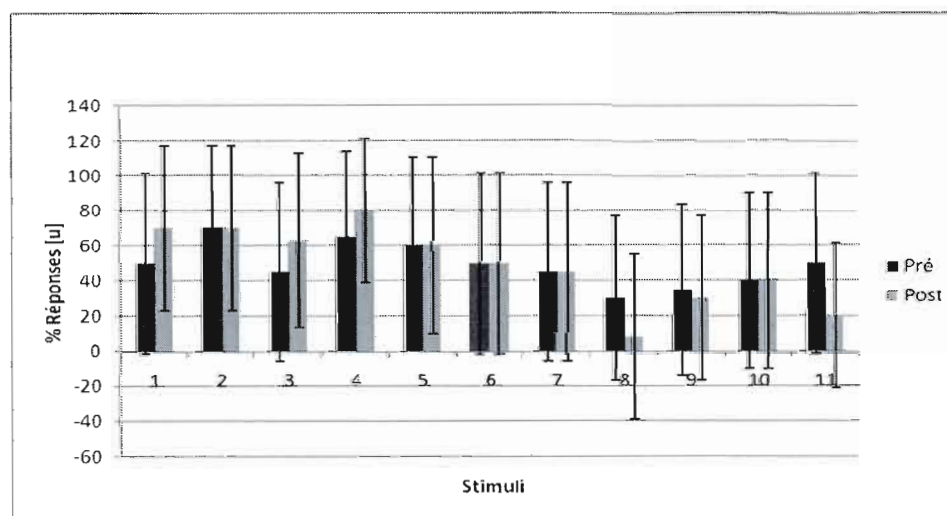


Figure 5.3 Moyenne de pourcentage de réponses [u] pour chaque voyelle pour le groupe expérimental ([u]= 1, [o]= 11).

Pour le groupe contrôle, la frontière catégorielle est claire, tous les participants ont identifié la voyelle [u] de façon univoque pour les stimuli 1 à 5. Les réponses aux voyelles 6 et 7 sont davantage ambiguës, mais elles demeurent à 85% en faveur de [u]. Les voyelles 8 à 10 semblent être situées à la frontière entre [u] et [o], mais il y a eu clairement plus de réponses [o]. Seule la voyelle 11 a été identifiée à 100% comme étant [o]. La voyelle située à

50% de reconnaissance au prétest est à la valeur 8 et au posttest à la valeur 7,45. Enfin, il y a une bonne différence entre les réponses [u] pour le stimulus 8, qui a respectivement eu 50% pour le prétest et 8% pour le posttest.

À l'opposé, les résultats du groupe expérimental sont plus nébuleux, il semble que les réponses données correspondent au niveau de la chance et oscillent entre 40% et 60% de réponse [u] pour les 11 stimuli au prétest et 10 stimuli au posttest. Aussi, les écarts types sont très élevés, entre 41% et 51,3%, pour toutes les voyelles.

5.2 Données par sujet

Les résultats des tests perceptifs seront maintenant présentés par sujet. Dans un premier temps nous observerons la moyenne de variation et la valeur du stimulus à 50% et, dans un deuxième temps, les frontières catégorielles pour chaque sujet.

Les moyennes de variation (écart moyen entre les % de réponse aux stimuli) ainsi que la valeur de la pente à 50% de reconnaissance par sujet et pour les deux tests ont été calculés et sont représentées au tableau 5.3.

Tableau 5.3
Moyenne de variation et valeur de la pente à 50% de reconnaissance pour tous les sujets

sujet	test	variation (%)	valeur à 50%	test	variation (%)	valeur à 50%
ac_e	pré	30		post	46	
bt_e	pré	12	4,83	post	10	5,25
dm_e	pré	20		post	36	
sb_e	pré	22		post	20	
al_c	pré	10	5,83	post	10	7,83
fb_c	pré	10	8,5	post	14	7,5
fl_c	pré	10	8,17	post	10	7,5
sd_c	pré	10	7,83	post	10	7,63

Tous les participants du groupe contrôle, à l'exception de fb_c en posttest, ont une variation moyenne de 10%. Par ailleurs, trois des quatre participants du groupe expérimental (ac_e, dm_e, sb_e) ont une variation de réponse supérieure qui se situe entre 20% et 46%. Les réponses sont si variables dans ce groupe que plus d'une valeur à 50% de reconnaissance a été trouvée chez ac_e, dm_e et sb_e. Cette mesure n'est donc pas valide pour ces locuteurs

et leurs résultats n'apparaissent pas dans le tableau. Enfin, la frontière catégorielle se déplace vers [o] en posttest pour al_c et bt_e et vers [u] pour fb_c, fl_c et sd_c.

Voyons maintenant les résultats individuels pour le groupe expérimental. Pour chaque sujet, les courbes perceptives sont illustrées.

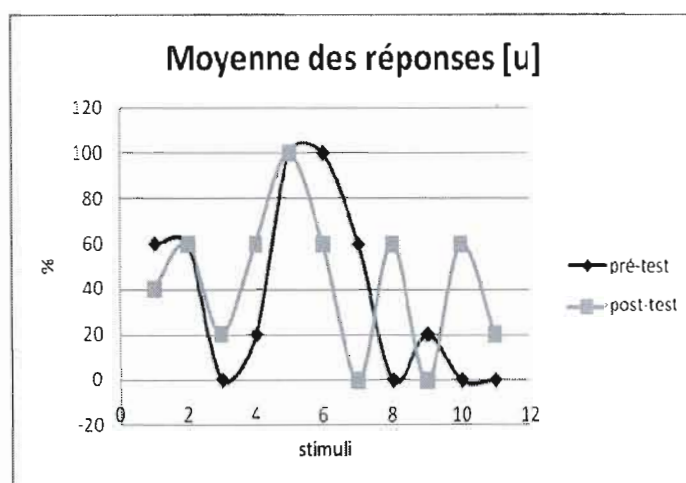


Figure 5.4 Courbe de perception des voyelles [u] et [o] par stimulus ([u]=1, [o]=11) pour le locuteur ac_e.

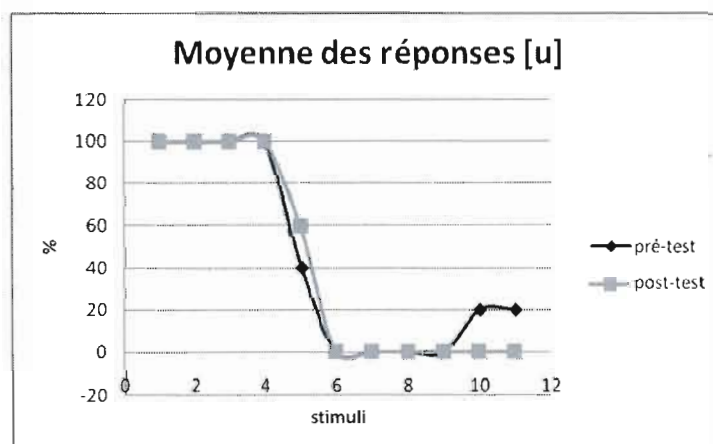


Figure 5.5 Courbe de perception des voyelles [u] et [o] par stimulus ([u]=1, [o]=11) pour le locuteur bt_e.

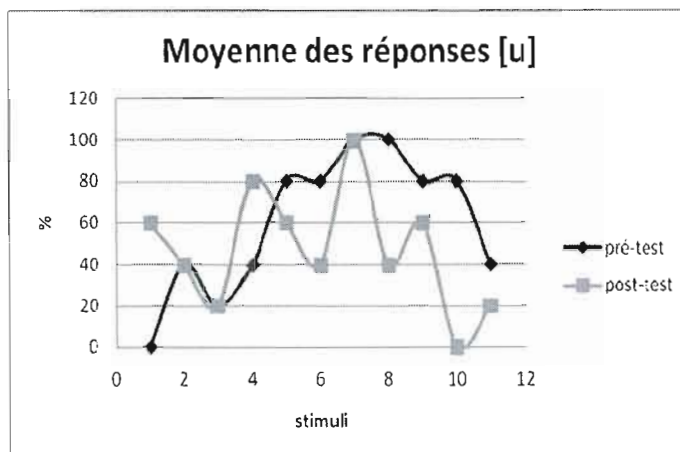


Figure 5.6 Courbe de perception des voyelles [u] et [o] par stimulus ([u]=1, [o]=11) pour le locuteur dm_e.

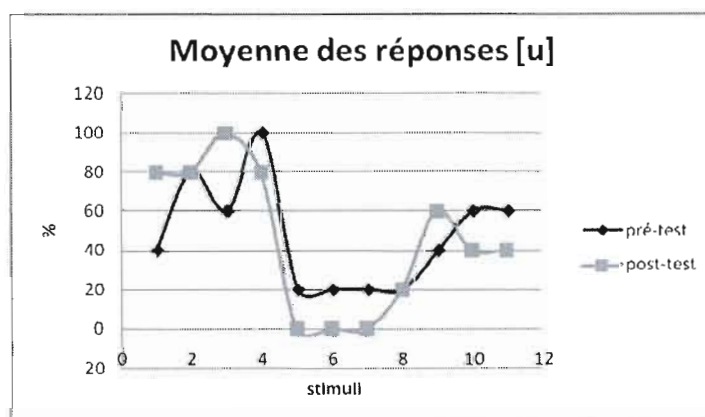


Figure 5.7 Courbe de perception des voyelles [u] et [o] par stimulus ([u]=1, [o]=11) pour le locuteur sb_e.

Une première remarque s'impose concernant les résultats de ac_e, dm_e et sb_e : la variation dans les réponses est importante. Il est impossible de déterminer la frontière catégorielle pour ces locuteurs. Le locuteur bt_e est le seul sourd ayant répondu de façon attendue au test de perception. Les stimuli 1 à 4 sont reconnus à 100% comme des [u] et ceux 6 à 9 comme des [o] pour les deux tests. Les voyelles 10 et 11 sont reconnues à 100% comme des [o] en posttest et à 80% en prétest.

Les graphiques suivants illustrent les résultats individuels pour le groupe contrôle.

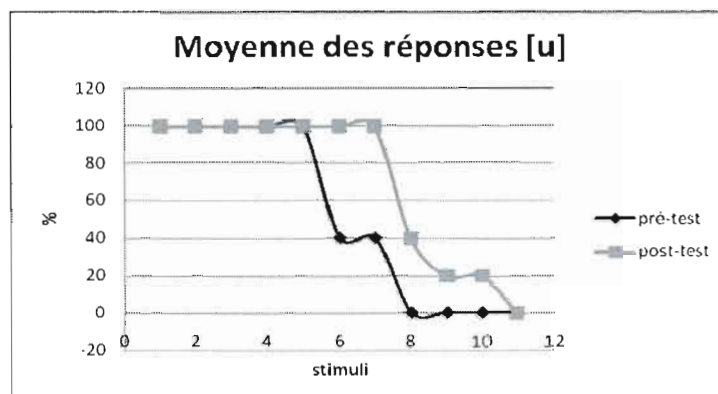


Figure 5.8 Courbe de perception des voyelles [u] et [o] par stimulus ([u]=1, [o]=11) pour le locuteur al_c.

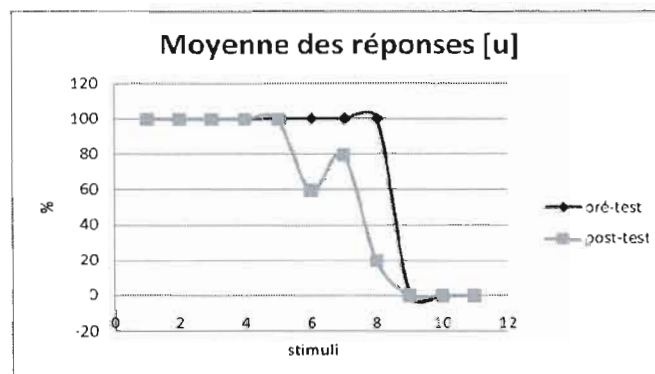


Figure 5.9 Courbe de perception des voyelles [u] et [o] par stimulus ([u]=1, [o]=11) pour le locuteur fb_c.

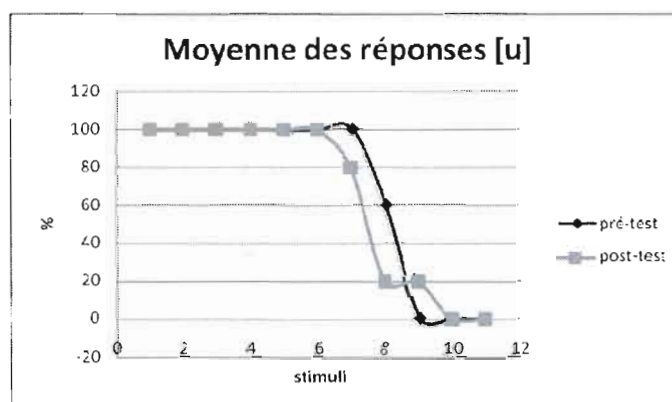


Figure 5.10 Courbe de perception des voyelles [u] et [o] par stimulus ([u]=1, [o]=11) pour le locuteur fl_c.

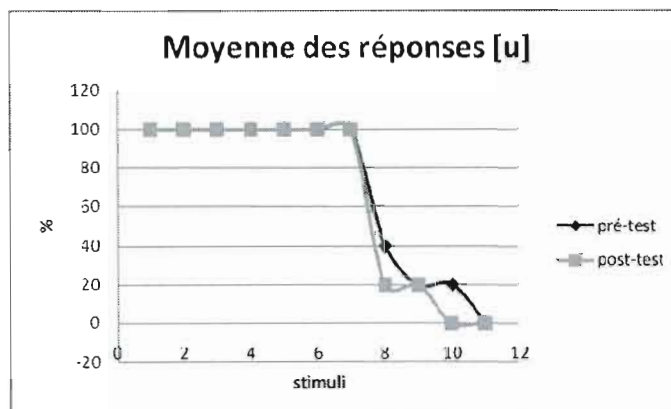


Figure 5.11 Courbe de perception des voyelles [u] et [o] par stimulus ([u]=1, [o]=11) pour le locuteur sd_c.

En ce qui concerne les résultats du groupe contrôle, ils sont plus clairs. Pour les locuteurs fb_c, fl_c et sd_c, la frontière catégorielle s'est déplacée en faveur de la perception de [o] pour le posttest. L'inverse est observé pour al_c. Enfin, on ne remarque aucune variation pour les stimuli 1 à 5 et 11 qui incluent les extrêmes du continuum de voyelles. Cela démontre que les participants entendants ont une représentation assez stable des voyelles /o/ et /u/.

5.3 Conclusion

Ce chapitre a permis de confirmer que la perception du phonème /u/ n'est pas la même parmi les groupes de locuteurs. Alors que la représentation de cette voyelle chez trois sourds ne nous est pas parue stable, celle de tous les entendants l'est. En outre, des différences, quoique de faible amplitude, ont été observées entre les réponses obtenues en prétest et en posttest.

Enfin, les résultats présentés, combinés aux observations acoustiques et articulatoires, nous permettront de vérifier dans le prochain chapitre si les habiletés perceptives individuelles peuvent être corrélées avec les compétences compensatoires.

QUATRIÈME PARTIE

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET REMARQUES CONCLUSIVES

CHAPITRE VI

DISCUSSION

L'objectif principal de ce mémoire est de décrire les stratégies compensatoires à la perturbation du tube labial chez les sourds et les entendants. Par cette analyse, nous souhaitons évaluer l'impact d'une privation auditive sur l'adaptation de la parole et, plus globalement explorer les liens entre la perception et la production de la parole. Les caractéristiques acoustiques et articulatoires de [u] produits par quatre adultes sourds ayant un implant cochléaire et quatre adultes entendants ont été décrites au chapitre IV. L'utilisation de la perturbation labiale et la variation de l'état de feedback auditif chez les sourds nous ont permis de relever une variation interindividuelle importante, mais plus encore des caractéristiques particulières dans la parole de sourds.

Ce dernier chapitre a pour but de mieux cerner les stratégies compensatoires adoptées par les locuteurs et d'évaluer l'impact de la privation auditive sur ces mécanismes. Finalement, nous tenterons d'établir un lien entre la perception du phonème /u/ et les performances de production de cette même voyelle chez les sujets sourds et entendants.

6.1 Stratégies compensatoires

6.1.1 Composants des analyses acoustiques et articulatoires

Rappelons que Savariaux, Perrier et Orliaguet (1995) et Aubin (2006) ont décrit les stratégies compensatoires optimales à la perturbation des tubes labiaux. Ils soulignent entre autres l'importance que semblent accorder les locuteurs à la restructuration du patron F1-F2

en reculant le point de constriction de la langue. Cette stratégie n'est pas optimale, mais concourt néanmoins à l'atteinte de la cible perceptive d'un [u] ayant un F1 et un F2 assez bas. Les locuteurs s'assurent ainsi que la hauteur et l'antéro-postériorité de la voyelle produite permettent un contraste perceptif suffisant avec les autres éléments du trapèze vocalique. De plus, quoique le contrôle de la fréquence fondamentale pour opposer [u] aux autres voyelles n'est pas essentiel, il est nécessaire à la normalisation de F2 et constitue avec F1 le corrélat acoustique de l'aperture perçu (Savariaux, Perrier et Orliaguet, 1995 ; Savariaux *et al.*, 1999). En fait, l'augmentation de F0 sert à diminuer l'aspect perceptif de l'ouverture qui est nécessairement augmentée par le port du tube labial (Aubin, 2006). Finalement, souvenons nous que le trait grave est une mesure auditive qui est classiquement utilisée pour décrire la voyelle [u] dans toutes les langues du monde (Jakobson, Fant et Halle, 1967), de ce fait, il constitue un excellent corrélat perceptuel de [u] (Savariaux *et al.*, 1999). Selon la nomenclature de Savariaux *et al.* (1999), nous avons classé les [u] produits dans trois catégories perceptives: (A) normal, (B) de mauvaise qualité et (C) n'est pas un [u].

Examinons maintenant les paramètres acoustiques de l'articulation compensatoire à l'aide d'un tableau récapitulatif. Pour chaque sujet, le tableau 6.1 indique la condition (P1 ou P2) à laquelle il y a eu restructuration du patron F1-F2, les changements de la fréquence fondamentale et le score du trait grave à cette condition.

Tableau 6.1
Récapitulatif des modifications acoustiques par sujet

Sujet	Restructuration du patron F1-F2	F0	Trait grave A=[u] normal B= [u] mauvais C= pas un [u] (gris)
ac_e	P2	↓	C
bt_e	P2	↑	B
dm_e	-	↑	A
fg_e	-	↓	B
al_c	-	↑	A (presque B)
fb_c	P1	↑	B
fl_c	P1		C (presque B)
sd_c	P2 (fin)	↓	B

Nous utiliserons le trait grave comme balise pour décrire si la cible est atteinte ou pas. Les deux locuteurs, dm_e et al_c, ayant réussi à produire des [u] de qualité normale ont augmenté la F0, mais n'ont pas ajusté les valeurs de F1 et de F2. Les locuteurs bt_e et fb_c qui ont rétabli le patron F1 et F2 en plus de diminuer F0 n'ont que réussi à faire des [u] de mauvaise qualité. Aussi, les locuteurs fg_e et sd_c qui n'ont presque pas modifié leurs patrons F1-F2 et diminué leur F0 ont quand même réussi à atteindre la cible [u]. La locutrice fl_c, malgré une restructuration du patron F1-F2, n'a pas réussi à produire des [u] en condition perturbée. Il est possible d'attribuer ce résultat au fait qu'elle n'a pas modifié sa fréquence fondamentale. Enfin, ac_e ne semble pas avoir réussi à compenser à la perturbation labiale si on observe les données acoustiques. Considérant que tous les locuteurs ayant augmenté leur fréquence fondamentale en condition perturbée ont réussi à atteindre la cible vocalique du [u], ce facteur semble être d'une importance cruciale dans les mécanismes de compensation à la perturbation labiale. Ce résultat appuie les conclusions tirées par Aubin (2006) et Savariaux *et al.* (1995, 1999).

Afin d'y voir plus clair, nous avons aussi observé la dynamique linguale chez nos participants. Le résultat le plus saillant est que tous les sujets, soit à la condition P1 ou P2, ont reculé le x_de_ymax ou diminué l'*asymétrie*. Des résultats similaires ont été obtenus dans l'étude de Savariaux, Perrier et Orliaguet (1995). En se référant au modèle de Fant (*cf.* p. 8), on observe que le déplacement vers l'arrière du point de constriction permet d'allonger la cavité avant. Pour produire un [u], les lèvres sont normalement projetées et fermées, le tube a pour effet d'ouvrir les lèvres et, afin de rétablir la résonance des cavités, le recul de la langue est la stratégie idéale. D'un autre côté, la hauteur de la langue, représentée par y_de_ymax , ne varie pas systématiquement dans le même sens. La figure 6.1 illustre les cas de figure des compensations articulatoires observées chez les huit sujets.

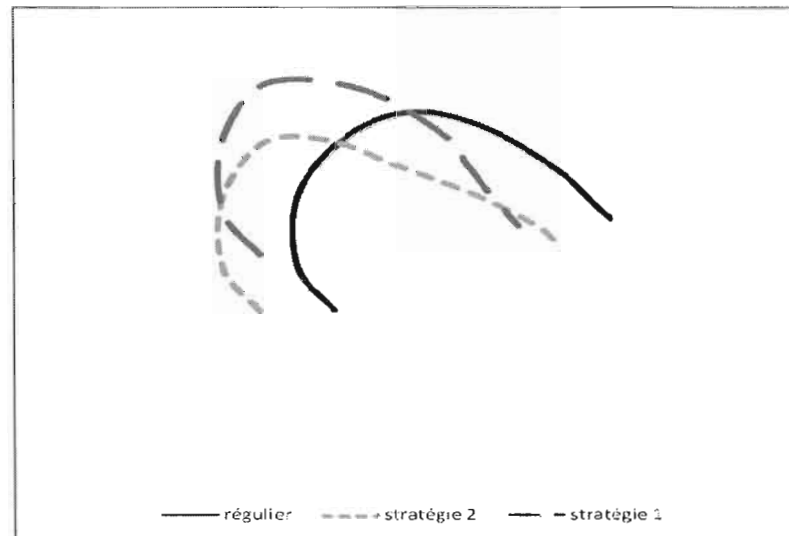


Figure 6.1 Cas de figure des comportements compensatoires observés. Les lignes représentent les contours de langue : l'apex à droite et la racine à gauche.

Les locuteurs *ac_e*, *fg_e*, *fb_c* et *sd_c* ont adopté la stratégie 1 alors que les locuteurs *bt_e*, *dm_e*, *al_c* et *fl_c* ont adopté la stratégie 2. Savariaux, Perrier et Orliaguet (1995) ont décrit la stratégie 2 comme étant la plus optimale pour compenser à la perturbation du tube labial. De notre côté, les résultats globaux sont moins clairs. Même si tous les locuteurs ont reculé la langue en condition perturbée, les changements quant à la hauteur ne s'effectuent pas toujours dans la même direction. Pour en arriver à cette conclusion, nous avons considéré les résultats acoustiques combinés aux stratégies articulatoires par sujet.

D'abord, on remarque que la locutrice *fl_c* qui a produit des [u] dont le trait grave ne correspond pas à celui d'un [u] augmente la courbure de la langue, mais n'effectue pas de changement quant à la hauteur du point le plus haut de la langue. L'autre locuteur ayant obtenu ce score à la mesure perceptive, *ac_e*, a augmenté la valeur de y_{de_ymax} , mais a diminué la valeur de F_0 . Ce dernier facteur a possiblement affecté la qualité des [u] produits. Les sujets *dm_e* et *al_c* ont réussi à faire des [u] de bonne qualité en diminuant la valeur de y_{de_ymax} et en augmentant la F_0 . Le cas de *dm_e* sera discuté davantage à la section suivante. Selon ces observations, le déplacement vers le bas du point de constriction de la langue semble avoir été la meilleure stratégie compensatoire. Un des locuteurs ayant produit des [u] de mauvaise qualité (*bt_e*) a également utilisé cette stratégie et les trois autres locuteurs (*fg_e*, *fb_c*, *sd_c*) ont préféré augmenter la hauteur de la langue.

En somme, trois entendants et deux sourds ont produit des [u] de bonne ou de mauvaise qualité en utilisant des stratégies articulatoires diverses. Malgré ceci, notons que tous les locuteurs ont déplacé le point de constriction de la langue vers l'arrière en condition perturbée. Cette tendance à restreindre les mouvements linguaux dans une zone précise pour un phonème donné illustre que des contraintes articulatoires sont en jeu dans le phénomène de compensation (Boë, Perrier et Bailly, 1992).

6.1.2 Effet postperturbation

Précisons tout de suite que nous nous intéresserons à la prochaine section à la comparaison entre les conditions N1 et N2 qui met en relief les changements d'état de *feedback* auditif pour le groupe expérimental. L'aspect acoustique de l'effet postperturbatoire fera l'objet de cette section. Notons que tous les locuteurs sans exception ont réussi à atteindre la cible vocalique selon le trait grave : dm_e, fg_e, al_c et sd_c ont fait des [u] de bonne qualité et ac_e, bt_e, fb_c et fl_c ont fait des [u] de mauvaise qualité. Les effets acoustiques sur le plan F1-F2 sont décrits en fonction de la typologie à la figure 6.2 reproduite ci-bas.

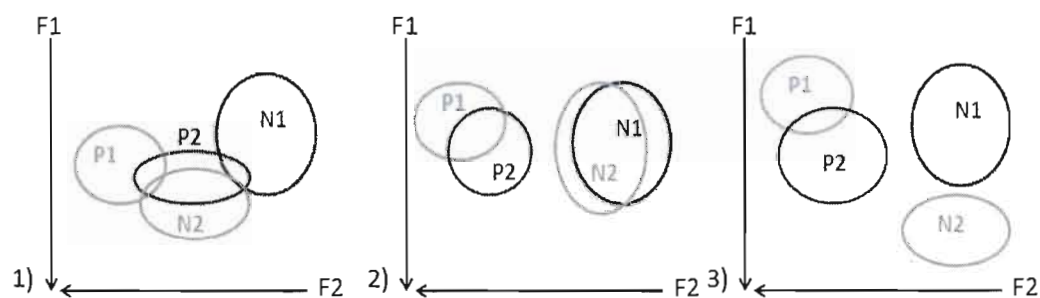


Figure 6.2 Cas de figure des effets postperturbatoires.

D'abord, la parole d'ac_e et d'al_c ne subit aucune modification notable sur le plan acoustique. Les ellipses se chevauchent dans l'espace acoustique pour toutes les conditions, ce qui nous laisse croire que ces locuteurs ont subi la perturbation sans vraiment retrouver une façon pour rétablir leur patron F1/F2. Notons ensuite que les locuteurs bt_e, dm_e, fl_c et sd_c tentent de reproduire un patron similaire à N1 à la condition N2 (cas (2)). Cette stratégie atteste de la capacité des locuteurs à retrouver la stabilité malgré les nombreuses occurrences produites en condition perturbée. Finalement, les locuteurs fg_e et fb_c surcompensent à la

condition N2, c'est-à-dire qu'ils produisent un patron différent que celui en N1, P1 et P2 (cas (3)).

La surcompensation témoigne normalement de l'apprentissage des sujets, car ils ont profité des conditions perturbées pour recalibrer leurs relations articulatoire-acoustiques. Ces nouvelles relations ont été internalisées de sorte qu'au retrait de la perturbation, elles sont reproduites, menant à une surcompensation (Aasland, Baum et McFarland, 2006 ; Jones et Munhall, 2003). S'il n'y a pas de surcompensation, on ne peut pas dire que les relations articulatoire-acoustiques pratiquées durant les conditions de perturbation ont véritablement été apprises. De ce point de vue, ce sont les locuteurs fg_e et fb_c qui auraient le plus appris de leur entraînement en condition perturbée.

6.1.3 Résumé et conclusion

Tout compte fait, les locuteurs entendants n'ont pas été de meilleurs compensateurs que les locuteurs sourds. En étudiant les scores de la mesure auditive du trait grave, nous avons vu qu'à peu près autant de locuteurs sourds qu'entendants ont réussi à compenser à la perturbation. D'un autre côté, même si cela ne s'est pas avéré être une stratégie optimale pour rétablir la qualité du phonème, davantage d'entendants que de sourds ont tenté de rétablir le patron F1/F2 en condition perturbée et l'ont fait dès la condition P1, ce qu'aucun sourd n'a fait. Pour ce qui est de la compensation linguale, encore une fois, les participants des deux groupes ont autant utilisé chacune des stratégies discutées.

Une dernière remarque s'impose concernant les compensations articulatoires, quoique des tendances émergent quant au sens des modifications, l'examen approfondi des espaces articulatoires nous apprend néanmoins que l'amplitude et le moment des réajustements varient selon les sujets moins que selon le groupe. Le caractère singulier des phénomènes d'adaptation de la parole avait déjà été relevé par de nombreux auteurs (Aubin, 2006 ; Baum et McFarland, 2000 ; Baum, McFarland et Diab, 1996 ; Jones et Munhall, 2003 ; Savariaux, Perrier et Orliaguet, 1995 ; Savariaux *et al.*, 1999) et on l'a expliqué par des différences au niveau de l'intégration sensorielle dans les processus d'apprentissage. En d'autres mots, les stratégies compensatoires dépendent des *feedbacks* sensoriels (auditif et somatosensoriel) et l'intégration de ces derniers varie d'une personne à l'autre, c'est pour cette raison que le réajustement des commandes motrices articulatoires varie d'un locuteur à l'autre.

6.2 Le rôle du *feedback* auditif

Pour évaluer le rôle du *feedback* auditif, nous avons comparé la parole de deux groupes de locuteurs : quatre adultes sourds ayant un implant cochléaire et quatre adultes entendants, ce qui nous permet d'évaluer l'impact d'un apport auditif dégradé à long terme. Nous désirions également nous questionner sur la régulation à court-terme par le *feedback* auditif, ce que nous avons concrétisé en opposant les conditions *implant allumé* (P2-N2) et *implant éteint* (N1-P1) chez le groupe expérimental.

6.2.1 Le contrôle laryngé

La parole d'adultes sourds postlinguaux demeure intelligible pendant de nombreuses années suite à la perte auditive, de prime à bord elle ne semble pas affectée. Par contre, on sait que les propriétés suprasgmentales se détériorent à long terme (Lane et Webster, 1991). En pratique, le contrôle de la fréquence fondamentale repose principalement sur la régulation par le *feedback* auditif et s'il est dégradé, la compensation est presque impossible à effectuer puisqu'elle ne peut pas reposer sur des *feedbacks* alternatifs (i.e. somatosensoriel) (Stevens, 1989). Des résultats obtenus dans le groupe de sourds appuient cette hypothèse. En effet, la F0 des locuteurs ac_e et dm_e, dont les valeurs sont respectivement de 173Hz et 210Hz en condition N2, illustre bien la dégradation à long terme du contrôle laryngé. Par opposition, aucun locuteur masculin du groupe contrôle n'a eu une F0 supérieure à 130Hz, toutes conditions confondues. Les données sociodémographiques nous apprennent que les sujets ac_e et dm_e ont commencé à perdre graduellement l'audition en bas âge, vers 9 mois en ce qui concerne ac_e et 4-5 ans pour dm_e. Même si la perte auditive sévère à profonde s'est produite à l'âge adulte selon les locuteurs, la longue période pendant laquelle ils ont eu accès à un *feedback* auditif dégradé semble avoir affecté le contrôle de la F0. D'un autre côté, notons que le locuteur bt_e qui a perdu l'audition subitement et a reçu l'implant cochléaire l'année même de la perte auditive a une F0 semblable à celle des locuteurs entendants.

Dans la section précédente, nous avons émis des réserves par rapport au cas de dm_e, à la lumière du constat concernant la fréquence fondamentale, nous aimerions réexaminer certains faits. Ce locuteur a produit des [u] de bonne qualité en condition perturbée et il n'effectue aucune restructuration sur le plan F1-F2. Le résultat obtenu à la mesure perceptive

serait dû à une F0 qui est, de façon permanente, très élevée. Sachant que le contrôle de la F0 est dégradé, nous croyons que les [u] produits par ce locuteur ne seraient pas si bien perçus s'ils devaient être qualifiés et/ou identifiés par d'autres locuteurs. De plus, sur le plan articulatoire, dm_e a déplacé le point de constriction de la langue vers le haut et cette stratégie s'est avérée peu efficace pour ac_e. Cette hypothèse gagnerait cependant à être vérifiée par des tests perceptifs dans une expérimentation future.

6.2.2 Analyse formantique et articulatoire

Les informations auditives sont essentielles au développement normal des propriétés segmentales de la parole, elles servent essentiellement à la construction du registre de correspondance entre l'intention phonétique et l'*output* acoustique. Une fois l'acquisition de la parole terminée, le *feedback* auditif met à jour le registre de correspondance et cette régulation est grandement sollicitée dans des conditions adverses (Guenther et Perkell, 2004 ; Lane et Tranel, 1971). De notre côté, les analyses statistiques menées au chapitre IV ont révélé des effets d'interactions de *groupe*conditions* pour les variables acoustique *F1* et articulatoire *x_de_ymax*.

Le groupe expérimental a significativement baissé de 10,7% la valeur de *F1* en condition P2 par rapport à la condition N1, ce que le groupe contrôle n'a pas fait. Svirsky et Tobey (1991) avaient obtenu un résultat similaire chez une locutrice sourde dont le *F1* était significativement plus élevé sans implant cochléaire. Notre interprétation est que les sujets sourds réajustent ce paramètre pour compenser à la perturbation labiale seulement quand ils ont accès au *feedback* auditif. Concrètement, la baisse de *F1* correspond à une fermeture de la mâchoire, la conséquence est une distance plus importante par rapport à [o]. En d'autres mots, une baisse de *F1* fait augmenter le contraste entre [u] et [o]. Les sujets sourds ont diminué ce paramètre significativement à P2, mais la diminution perdure à la condition N2 (-8,59%). Il y a donc une bonne différence pour le *F1* en conditions avec et sans implant cochléaire. Quelques études ont déjà rapporté que sans l'accès au *feedback* auditif, les sourds ayant un implant cochléaire produisent des voyelles qui sont moins contrastées et que, avec l'usage de l'implant, le contraste vocalique s'améliore (Perkell *et al.*, 1992 ; Svirsky *et al.*, 1992 ; Svirsky et Tobey, 1991). Nos observations concernant la régulation du premier formant abordent en ce sens.

Pour ce qui est de l'interaction *groupe*condition* de la variable articulatoire *x_de_ymax*, des analyses *posthoc* révèlent que les différences entre les conditions perturbées (P1-P2) et la condition normale préperturbation (N1) pour le groupe d'entendants sont significatives. Cela indique que les entendants ont, dès la condition P1, modifié la position horizontale de la langue, ce que les sourds n'ont pas fait. Les analyses individuelles confirment ce résultat puisque seulement deux locuteurs du groupe expérimental (ac_e et fg_e) ont modifié *x_de_ymax* à la condition P1, tandis que tous les locuteurs entendants ont reculé la langue dès P1. Aussi, il y a plus de différences entre les conditions P1 et P2 pour le groupe expérimental que pour le groupe contrôle. Entre autres, le paramètre de l'*asymétrie* a été reculé chez bt_e, dm_e et fg_e alors qu'il demeure stable pour tous les locuteurs du groupe contrôle.

Le fait que les locuteurs bt_e et dm_e aient effectué une compensation articulatoire à la condition P2 démontre qu'ils utilisent les informations auditives dorénavant disponibles pour réajuster leur configuration. En ce sens, l'accès au *feedback* auditif facilite la compensation articulatoire (Jones et Munhall, 2003).

Une autre façon de vérifier si l'apport auditif de l'implant cochléaire a un effet sur la parole des sourds est de comparer les conditions N1 et N2. De nombreuses différences intergroupes ont été observées en ce qui concerne les données acoustiques et, pour plus de clarté, le tableau des résultats acoustiques individuels indiquant la direction des changements significatifs observés est reproduit ci-bas.

Tableau 6.2
Différences significatives observées en condition normale postperturbation N2 par rapport aux valeurs de la condition normale préperturbation N1 pour la voyelle [u] (*= $p < 0.05$; **= $p < 0.01$; ***= $p < 0.001$)

Groupe	Sujet	F1	F2	F0
Expérimental	ac_e	↓*	↓*	↓**
	bt_e	↓***	↑***	↑***
	dm_e		↑*	↑***
	fg_e	↓***	↓*	↑***
Contrôle	al_c	↑*		↑***
	fb_c			↑***
	fl_c			
	sd_c	↑***		↓***

Dans les deux groupes, c'est la fréquence fondamentale qui est le plus affectée en N2. Seulement fl_c n'a pas modifié ce paramètre. Les locuteurs bt_e, dm_e, fg_e, al_c et fb_c ont tous augmenté la F0 en condition N2 par rapport à N1. Le paramètre F1 a été modifié chez trois sujets sourds et deux entendants. Finalement, tous les participants du groupe expérimental ont modifié la valeur de F2, alors qu'aucun locuteur de l'autre groupe ne l'a fait. Même si le sens de ce changement n'est pas le même pour les quatre sujets, il n'en demeure pas moins que la différence entre le groupe expérimental et contrôle est saillante concernant ce paramètre. Nous allons considérer que les paramètres modifiés également dans les deux groupes constituent des effets postperturbation, c'est-à-dire une conséquence du réajustement de la parole en condition perturbée. Nous ne considérons donc plus les modifications de F1 et de F0 entre ces deux conditions comme des différences intergroupes. Les modifications observées entre les conditions N1 et N2 qui représentent une différence entre les états de feedback auditif se résument alors à F2 et tous les locuteurs sourds l'ont modifié de la condition préperturbation à la condition postperturbation.

Le constat n'est pas le même pour ce qui est des paramètres articulatoires, les locuteurs des deux groupes ont légèrement varié la forme et la position de la langue (*cf.* tableau 4.13). Par contre, les locuteurs ac_e, bt_e et fg_e ont diminué la courbure de la langue à N2 par rapport à N1. Nous croyons que le contrôle des paramètres *F2* et *courbure* reposerait davantage sur la rétroaction auditive. D'un autre côté, rien n'indique que ces effets soient strictement dus à la variation d'état de feedback auditif, il demeure une possibilité que la tâche d'adaptation ait influencé ces variables. Pour vérifier ces hypothèses, il serait nécessaire, dans une prochaine étude, d'intégrer un troisième groupe de locuteurs sourds qui ne ferait pas de production en condition perturbée. Pour l'instant, nous soulignons tout de même une différence importante entre les groupes en ce qui concerne les variables relatives au trait d'antéropostériorité de la langue.

Globalement, les sourds et les entendants ont été d'aussi bons compensateurs. Les informations auditives ne seraient donc pas cruciales à la compensation articulatoire. Que les participants sourds aient été en mesure de compenser (partiellement ou totalement) démontre que les cibles articulatoires sont probablement également codées en termes somatosensoriels, à l'appui des études menées par Perkell (1979), Tye *et al.* (1983), Hoole (1987) ainsi qu'Ostry et Nasir (2008). Il faut néanmoins considérer que la compensation complète chez le locuteur sourd bt_e a été conditionnelle à l'accès au *feedback* auditif, alors que le locuteur entendant fb_c a réussi une compensation complète dès les premiers essais en condition perturbée (P1). Même s'il est difficile d'évaluer le poids des informations auditives par rapport à celui des informations proprioceptives, les résultats que nous avons obtenus mettent en évidence que les deux types d'afférences contribuent à l'adaptation de la parole.

6.3 Regards sur les liens entre la perception et la production de la parole

Dans cette dernière section, nous présenterons d'abord une réflexion concernant les résultats au test de perception (*cf.* chap. V) en regardant les résultats des deux groupes et les résultats individuels. Un peu comme l'étude de Shiller *et al.* (2009) l'a fait, nous tenterons d'évaluer l'impact d'une tâche de compensation articulatoire sur la perception de phonèmes. D'un autre côté, puisque ce mémoire contient une description détaillée de la production de la

parole et des comportements compensatoires, nous chercherons à établir des liens entre la perception et la production des locuteurs.

Les résultats du test de perception nous a mené à conclure que les participants du groupe contrôle avaient une représentation solide des voyelles /u/ et /o/. Les voyelles extrêmes dans le continuum ont été identifiées à 100% comme faisant partie d'une catégorie vocalique. D'un autre côté, trois des quatre sujets sourds n'ont jamais reconnu à 100% les voyelles extrêmes, seulement le locuteur bt_e a répondu de façon similaire aux participants du groupe d'entendants. Ceci indique que le contraste entre les voyelles /u/ et /o/, hors contexte, n'est pas solide. Le signal sonore transmis par l'implant est différent de celui transmis par les structures naturelles de l'oreille : les informations auditives sont en quelque sorte appauvries. Normalement, dans une situation où le signal acoustique est pauvre, les informations contextuelles compensent à la perte d'information et permettent ainsi que le message soit transmis (Lindblom, 1987). Or, le test perceptif ne contient que des informations auditives, il n'y a donc aucun moyen pour les sujets de compenser à la perte d'informations. De plus, les voyelles de ce test sont isolées, il est donc impossible de se fier sur les indices de coarticulation (transitions formantiques) pour les identifier.

Une autre explication peut être donnée à la faible performance des sourds au test de perception. Les voyelles /u/ et /o/ diffèrent acoustiquement par le premier formant et il a déjà été observé que les représentations acoustiques sous-jacentes de F1 chez les sourds est différente de celle des entendants (Iverson, Smith et Evans, 2006 ; Svirsky *et al.*, 2004). Même si normalement les représentations acoustiques sont restaurées après 2 ans et que tous les locuteurs avaient leur implant depuis au moins deux ans, il semble que d'autres facteurs influencent l'identification des voyelles /u/ et /o/. Par exemple, bt_e a eu des résultats similaires à ceux d'un entendant, ce locuteur a perdu l'audition de façon subite et a été implanté très peu de temps après l'incident, ce qui lui a permis de préserver l'intégrité de ses représentations vocaliques. Sachant que c'est le facteur temporel qui agit sur la détérioration de la parole chez les sourds, il est probable que la durée de la surdité profonde sans implant cochléaire influence la reconnaissance de certaines propriétés spécifiques de la parole.

En ce qui concerne les résultats avant et après la tâche de production, quelques différences ont été notées. Si on considère les données groupées, la valeur de la voyelle à 50% s'est déplacée vers [u] de 0,55 pour le groupe contrôle. Ce calcul n'a pas pu être

effectué pour le groupe expérimental. Pour ce qui est des données individuelles, la valeur à 50% s'est déplacée vers [o] au posttest pour les locuteurs al_c et bt_e et vers [u] pour les locuteurs fb_c, fl_c et sd_c. Malgré cette distribution, notons que trois locuteurs entendants ont choisi de favoriser la perception de la voyelle /u/ en posttest. Il est intéressant de constater que les frontières catégorielles de tous les locuteurs entendants se situent entre les voyelles 7 et 8 au posttest alors que les résultats sont davantage dispersés en prétest. La tâche de production a donc quand même eu un effet sur la perception. Des différences interindividuelles au prétest, on passe à une frontière assez semblable d'un locuteur à l'autre en posttest. Outre les différences intergroupes, les données recueillies permettent difficilement d'établir des correspondances claires entre la perception et la production du [u]. Des tests de discriminations auditives incluant davantage de voyelles nous auraient permis de mieux qualifier les représentations acoustiques des locuteurs.

Sur le plan acoustique, nous avons observé que le paramètre F1 est utilisé différemment par les groupes, mais il est surtout affecté par l'absence de rétroaction auditive chez les sourds. Rappelons-nous que le F1 a été diminué en conditions P2 et N2, ce qui a eu pour effet de rétablir le contraste entre les voyelles /u/ et /o/. De telles différences n'ont pas été observées en ce qui concerne F2. À l'analyse des résultats au test de perception, nous avons remarqué que les participants sourds ont eu beaucoup de mal à identifier clairement les voyelles /u/ et /o/ qui se distinguent par F1. L'étude du contraste entre /u/ et /y/ nous aurait appris si les représentations perceptives de F2 sont davantage stables que celles de F1 chez les sourds. Il aurait été pertinent de tester cette paire de voyelles.

De constater que la perception de F1 est fragile et que la production de F1 subit des modifications majeures (en moyenne environ 10%) en fonction de l'accès au *feedback* auditif nous mène à deux constats. D'une part, la différence entre les deux groupes nous informe qu'un *feedback* auditif dégradé a des effets à long terme sur la stabilité et la représentation de la cible vocalique et plus particulièrement en ce qui concerne le paramètre F1. D'autre part, malgré une perception instable, les locuteurs sourds ont tout même réajusté le F1 lorsqu'ils ont eu accès à la rétroaction auditive, ce qui nous porte à croire qu'il existe une régulation à court-terme qui repose en partie sur la rétroaction auditive, mais qui n'est pas suffisante pour rétablir totalement les représentations perceptives. Cette régulation serait plutôt de nature

articulatoire et guidée par les informations auditives qui travaillent de pair avec les contraintes sensorimotrices.

6.4 Remarques sur les représentations de la parole

Des études démontrent que la perception auditive active les centres moteurs (Pulvermuller *et al.*, 2006; Skipper *et al.*, 2007^a). Cette activation demeure néanmoins de plus faible intensité que lors de la perception en audiovisuelle (Skipper *et al.*, 2007^b) et, assurément, lors de la production de la parole. Ceci pourrait expliquer les performances des locuteurs sourds au test de perception. Par ailleurs, les informations somatosensorielles étant plus actives lors de la production, elles ont permis aux locuteurs sourds de compenser, du moins partiellement, à la perturbation labiale, et ce, même sans *feedback* auditif. Ces hypothèses gagneraient à être vérifiées par des études de neuro-imagerie cérébrale.

Le fait que les locuteurs aient été capable de compenser partiellement sans *feedback* auditif indique que les informations proprioceptives jouent un rôle important dans la compensation articulatoire (Perkell, 1979; Hoole, 1987; Houde et Jordan, 1998, 2002; Nasir et Ostry, 2008). Cependant, que les locuteurs sourds aient eu besoin de leur *feedback* auditif pour compenser totalement alors que deux locuteurs entendants ont réussi à le faire dès les premiers essais révèle que les informations auditives jouent également un rôle (Perkell *et al.*, 1992; Jones et Munhall, 2003; Lane *et al.*, 2005). Tout compte fait, les résultats que nous avons obtenu appuie l'idée globale que les représentations de la parole sont de nature multisensorielle (Schwartz *et al.*, 2002; Perkell *et al.*, 1995; Skipper *et al.*, 2007).

CONCLUSION

Ce mémoire visait à étudier la compensation à une perturbation labiale chez des sourds et à mieux comprendre les liens entre la perception et la production de la parole. D'une part, nous avons enregistré deux groupes de locuteurs, un composé d'adultes sourds ayant un implant cochléaire et l'autre d'adultes entendants. En comparant la parole des deux groupes et en faisant varier l'état de feedback auditif chez les sourds, nous désirions en apprendre davantage sur le rôle de la régulation auditive sur le maintien des cibles vocaliques et plus précisément de la voyelle /u/. D'autre part, nous nous sommes également intéressés à la perception de ce phonème chez les mêmes sujets. Dans le cadre de théories proposant que la perception et la production de la parole soient liées et partagent des mécanismes communs, nous avons proposé que l'état de feedback auditif influence la réalisation de la compensation articulatoire et a un impact à long terme sur les représentations internes de la parole. De plus l'intégration des informations sensorielles entrantes et des commandes motrices articulatoires devrait se refléter également dans la comparaison des résultats au test perceptif et à la tâche de production.

Alors que les résultats acoustiques mettent en évidence des distinctions intergroupes, les analyses articulatoires indiquent que tous les locuteurs tendent à utiliser des stratégies compensatoires similaires. Concrètement, nous avons observé que F1 varie selon le groupe et selon l'accès à la rétroaction auditive, ce que les autres paramètres acoustiques ne semblent pas subir. Soulignons aussi que les valeurs de F0 s'éloignent des valeurs normatives pour deux locuteurs sourds. Si on s'attarde au corrélat perceptif de la voyelle /u/, le trait grave, les sourds semblent davantage user de cette dimension perceptive que les entendants. Aussi, on remarque que la qualité des /u/ s'améliore pour le groupe expérimental, ce qui n'est pas observé chez le groupe contrôle. Bref, la régulation de F1 a été particulièrement affectée par

l'état de *feedback* auditif des participants. Nous avons également relevé un effet à long terme de la perte auditive sur le contrôle laryngé chez deux sujets sourds.

Pour ce qui est des résultats articulatoires, tous les locuteurs ont choisi de déplacer le point de constriction de la langue vers l'arrière pour compenser au tube labial, ce qui témoigne de l'existence de contraintes motrices articulatoires. Par ailleurs, deux locuteurs sourds ont effectué cette modification à la condition P2 alors que tous les locuteurs entendants l'ont faite dès P1. La direction des changements de hauteur de la langue varie d'un locuteur à l'autre, ce qui supporte l'idée que les variations interindividuelles sont inhérentes aux processus de compensation articulatoires. En somme, les entendants n'ont pas été de meilleurs compensateurs que les sourds, mais il est nécessaire d'ajouter que, sur le plan articulatoire, les sourds ont davantage adapté leur parole lorsque leur implant était en fonction. Il semble donc que la rétroaction auditive influence l'acuité des commandes motrices articulatoires. Des analyses supplémentaires seraient nécessaires afin de vérifier si les voyelles produites satisfont aux exigences perceptives des locuteurs natifs. Enfin, les résultats du test de perception ont confirmé que l'apport de la rétroaction auditive à long terme permet le maintien des contrastes vocaliques sur le plan F1. Globalement, les entendants ont mieux réussi à la tâche de catégorisation et la faible performance des sourds s'expliquerait par la précarité de leurs contrastes vocaliques basés sur F1.

L'originalité de ce mémoire réside dans l'intérêt qui a été porté à plusieurs composants de la parole, d'abord à l'acoustique et à l'articulatoire, mais aussi à la perception vocalique. Les analyses ont permis de dresser un portrait global de la représentation de la voyelle /u/ dans le système de gestion de la parole.

Certaines réflexions émises gagneraient à être vérifiées dans des projets futurs. Entre autres, de construire un test de perception plus élaboré aurait permis de dresser un portrait plus détaillé de la perception vocalique des participants. Les hypothèses formulées concernant le rôle que tiennent les différentes modalités sensorielles dans un modèle explicatif de la perception et de production de la parole gagneront à être explorées dans des recherches comportementales et neurophysiologiques.

ANNEXES

APPENDICE A

LETTRE D'INFORMATION ET FORMULAIRE DE CONSENTEMENT



Laboratoire de phonétique
 Université du Québec à Montréal
 Département de linguistique et de didactique des langues
 Case postale 8888, succursale Centre-ville
 Montréal (Québec), H3C 3P8

Titre du projet : Le développement du contraste i/y en français : le rôle des indices
 visuels et auditifs

Lettre d'information pour la participation à une recherche et feuille réponse

Monsieur,
 Madame,

Nous sollicitons, par la présente, votre participation à une recherche s'intéressant aux rôles des indices visuels et auditifs dans la perception et la production de la parole. **Ce projet de recherche est financé par le Conseil de recherche en sciences humaines du Canada (CRSH).** Nous visons à étudier le lien entre la production et la perception de la parole lorsque les indices sensoriels sont altérés. Entre autres, le fait d'avoir accès au feedback auditif peut modifier les qualités acoustiques et articulatoires de la parole produite. Lorsque les informations perçues par un locuteur sont incomplètes, par exemple lorsqu'une personne parle sans entendre ce qu'elle dit, plusieurs mécanismes naturels de compensation sont mis à l'œuvre pour que le message communiqué soit perçu correctement par l'interlocuteur. C'est précisément ce que les gens font pour parler efficacement malgré qu'ils n'entendent pas les sons de leur propre parole qui nous intéresse. L'objet de cette étude est donc de clarifier les mécanismes de compensation à l'absence d'informations acoustiques lors de la production de la parole.

Si vous désirez participer à cette recherche, prière de nous faire parvenir la feuille réponse dûment remplie en utilisant l'enveloppe préaffranchie incluse dans cet envoi. Par la suite, nous vous contacterons pour prendre rendez-vous selon vos disponibilités.

N'hésitez pas à consulter notre site web www.uqam.ca/phonetique ou à nous contacter si vous avez besoin de plus d'information avant de prendre une décision. Nous vous remercions à l'avance de votre collaboration.

Amélie Brisebois, étudiante à la maîtrise en linguistique, brisebois.amelie@gmail.com
 Tél : (514) 987-3000, poste 8182

N.B. : *Prenez note que toute question, critique ou plainte peut être adressée à Lucie Ménard (987-3000 poste 3515). Si votre plainte ne peut être réglée directement avec la chercheuse principale, vous pouvez faire valoir vos droits par écrit auprès du Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Montréal (secrétariat : 987-3000 poste 773). Formulaire de consentement, sujet majeur*



Titre du projet: Le développement du contraste i/y en français : le rôle des indices visuels et auditifs

Responsable: Lucie Ménard, Ph. D.
 Professeure
 Département de linguistique et de didactique des langues
 Université du Québec à Montréal
 Case postale 8888, succursale Centre-ville
 Montréal (Québec) H3C 3P8
 Téléphone : (514) 987-3000, poste 3515
 Télécopieur : (514) 987-4652
<http://www.icp.inpg.fr/~menard>

Co-chercheurs : Shari R. Baum, Ph. D.
 Professeure
 School of Communication Sciences and Disorders
 McGill University
 1266 Pine Avenue West
 Montreal, (Quebec) H3G 1A8
 Téléphone : 514-398-7385
 Télécopieur : 514-398-8123
<http://www.mcgill.ca/scsd>
<http://www.crlmb.mcgill.ca>

Vincent L. Gracco, Ph. D.
 School of Communication Sciences & Disorders
 McGill University
 1266 Pine Avenue West
 Montreal, Quebec H3G 1A8
 Canada
 Téléphone : 514-398-7386
 Télécopieur : 514-398-8123
 e-mail: vincnt.gracco@mcgill.ca

Collaboratrice : Marie-Agnès Cathiard, Ph. D.
 Institut de la communication parlée, Université Stendhal
 Domaine Universitaire
 38040 Grenoble CEDEX, France BP 25X
 Téléphone : 011.33.4.76.82.41.28
 Télécopieur : 011.33.4.76.82.43.35

Description du projet et objectifs

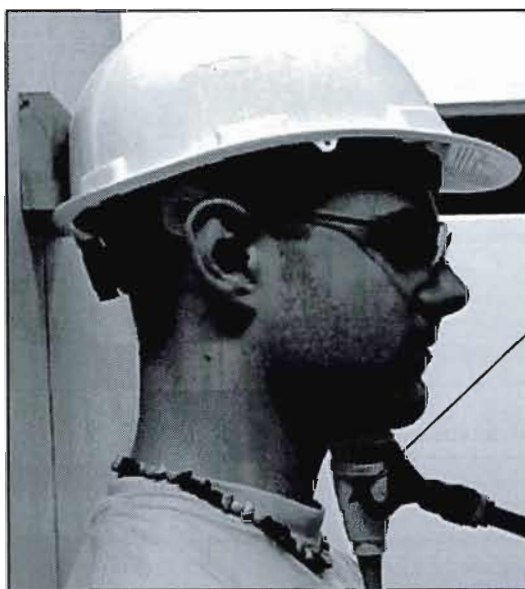
Le projet de recherche dirigé par Lucie Ménard consiste à étudier le rôle des indices visuels et auditifs dans le développement du contrôle de la parole. Plus précisément, les chercheurs souhaitent étudier les mouvements des lèvres et de la langue lors de la production des voyelles /i/ (comme dans « vie ») et /y/ (comme dans « vue »). Puisque le mouvement des lèvres est visible, contrairement au mouvement de la langue, l'hypothèse posée est la suivante : selon que l'on a accès aux sons de la voix ou non, les gens développeront différentes stratégies pour articuler ces voyelles en français. Nous voudrions également vérifier dans quelle mesure l'articulation des voyelles est différente lorsque la personne n'entend pas ce qu'elle est en train de prononcer. La durée prévue du projet est de trois ans. Environ 10 adultes entendants âgés de 18 à 35 ans participeront au projet, 10 adultes du même groupe d'âge, mais atteints de surdité sévère ou profonde à la naissance, et 10 adultes du même groupe d'âge mais atteints de surdité sévère ou profonde après l'âge de 18 ans et porteurs d'implants cochléaires. Tous les locuteurs devront avoir le français québécois comme langue maternelle et d'usage. Les sujets sourds retenus pour l'étude seront atteints d'un niveau de surdité suffisant pour ne pas percevoir distinctement les sons de la parole (ce déficit correspond aux stades 3 et 4, selon les critères de l'Organisation Mondiale de la Santé). De plus, ils ne devront pas avoir de déficiences intellectuelles, locomotrices et visuelles associées.

Nature et durée de la participation

Ma contribution consiste à participer à une séance d'enregistrement de parole d'une durée totale de 1 heure, séance qui aura lieu à l'Université du Québec à Montréal (UQAM). Chaque séance se déroule comme suit :

L'expérimentateur procédera à l'enregistrement des sons que je produirai, à l'aide d'une caméra vidéo, de l'optotrak et de l'échographe. Afin d'optimiser le suivi du mouvement des

lèvres, celles-ci seront maquillées en bleu à l'aide d'un crayon conçu pour le maquillage théâtral. Un miroir sera également installé près de moi pour capter les mouvements des lèvres en vue de profil. Les mouvements de la langue seront recueillis par un échographe, qui consiste en une technique d'imagerie par la réflexion d'ondes de très haute fréquence. Ces deux techniques n'impliquent pas de marqueurs à l'intérieur de la bouche. Elles sont fréquemment utilisées en science de la parole, même chez des sujets enfants. Je serai donc en position assise, et je devrai bouger le moins possible (les mouvements de ma tête seront par la suite pris en compte lors de la correction des données). L'image suivante représente le dispositif expérimental :



Sonde échographe

Une période de familiarisation d'une dizaine de minutes me permettra de voir l'appareillage et d'interagir avec l'expérimentateur. Je devrai ensuite répéter 10 fois plusieurs phrases comme par exemple :

La grenouille ikue est verte
 La poule itue est grise
 Le cochon ihue est bleu
 Le lion ikrkue est rose
 Le nounours irue est blanc
 Le phoque ikskue est roux

Le poisson ikrué est rouge
 Le poussin ikrué est jaune
 L'écureuil ikrué est brun
 La baleine ikrué est grise

L'enregistrement durera environ 15 minutes.

Résumé des tâches lors de la séance d'enregistrement :

Tâche		Durée
1 : Familiarisation		10 minutes
3 : Enregistrement	Calibration	5 minutes
	Production des sons	15 minutes

Avantages pouvant découler de ma participation

Aucun avantage personnel n'est relié à ma participation à ce projet. J'aurai la possibilité d'avoir accès aux résultats de recherche découlant du projet. Cette transmission d'informations s'effectuera en présence d'un professionnel compétent dont le rôle sera de m'expliquer la teneur des données.

Risques pouvant découler de ma participation

Des mesures précises seront prises par les chercheurs afin de s'assurer de l'utilisation sans risque du matériel. Après chaque séance, la sonde échographe sera soigneusement nettoyée et désinfectée. Tout le matériel ayant entré en contact avec ma peau sera jeté (mouchoirs, pinceaux, etc.).

Ma participation à ce projet de recherche ne me fait courir, sur le plan médical, aucun risque que ce soit. Il est aussi entendu que ma participation au projet n'affectera pas les soins et les services que je reçois ou recevrai de l'Institut Raymond-Dewar, le cas échéant.

Inconvénients personnels

La présence de la sonde échographe sous ma mâchoire peut être inconfortable. L'expérimentateur veillera à ce que la période de familiarisation soit suffisamment longue

pour que le locuteur n'éprouve aucune crainte. Le déplacement de mon domicile au site de recherche et la durée de la session d'environ 1 heure peuvent représenter pour moi un inconvénient. Les chercheurs s'assureront que l'horaire me permette de minimiser cet inconvénient.

Confidentialité

Tous les renseignements personnels recueillis à mon sujet au cours de l'étude seront codifiés afin d'assurer leur confidentialité. Ces données seront conservées sous clé au Laboratoire de phonétique de l'UQAM par la responsable de l'étude (Lucie Ménard) pour une période de 5 ans. Toutes les données (acoustiques, articulatoires et audio-visuelles) sont anonymes, rendant ainsi impossible l'identification du sujet. Cependant, l'accès aux films (format électronique .avi et cassettes) ne sera pas possible pour les chercheurs externes. En cas de présentation des résultats de cette recherche ou de publication, rien ne pourra permettre de m'identifier.

Questions concernant cette étude

Je peux contacter la responsable du projet si je désire de plus amples informations avant de prendre une décision. En cours de projet, celle-ci répondra également à toutes mes questions.

Retrait de ma participation

Ma participation au projet de recherche décrit ci-dessus est tout à fait libre et volontaire. Si je désire me retirer de cette recherche, je peux le faire en tout temps. Il est entendu je pourrai, à tout moment, mettre un terme à ma participation sans que cela n'affecte les soins et les services de santé que je reçois ou recevrai de l'Institut Raymond-Dewar. En cas de retrait, les documents audiovisuels et écrits me concernant seront détruits.

Clause de responsabilité

En acceptant de participer à cette étude, je ne renonce à aucun de mes droits ni ne libère les chercheurs, le commanditaire ou les institutions impliquées de leurs obligations légales et professionnelles.

Indemnité compensatoire

Je recevrai une indemnité compensatoire de cinquante dollars (50\$). Mes frais de déplacements (taxi, titre de transport en commun), de mon domicile au laboratoire d'enregistrement (Université du Québec à Montréal), seront remboursés.

Personne-ressource

Je peux contacter la responsable du projet, Lucie Ménard (les coordonnées figurent sur la première page du présent formulaire). Cette personne peut être jointe en tout temps afin de répondre aux questions sur le projet, signaler un effet adverse et/ou un incident défavorable ou signaler mon retrait du protocole de recherche.

Si j'ai des questions sur mes droits et recours ou sur ma participation à ce projet de recherche, je peux communiquer avec Me Anik Nolet, coordonnatrice à l'éthique de la recherche des établissements du CRIR au (514) 527-4527 poste 2643 ou par courriel à l'adresse suivante: anolet.crir@ssss.gouv.qc.ca

CONSENTEMENT

Je déclare avoir lu et compris le présent projet, la nature et l'ampleur de ma participation, ainsi que les risques auxquels je m'expose tels que présentés dans le présent formulaire. J'ai eu l'occasion de poser toutes les questions concernant les différents aspects de l'étude et de recevoir des réponses à ma satisfaction. Si je bénéficie des services de l'Institut Raymond-Dewar, je certifie que le coordonnateur de la recherche de l'Institut Raymond-Dewar m'a d'abord contacté au sujet de cette étude, avant tout échange avec le chercheur responsable.

Je, soussigné(e), accepte volontairement de participer à cette étude. Je peux me retirer en tout temps sans préjudice d'aucune sorte. Je certifie qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre ma décision et je sais qu'une copie de ce formulaire figurera dans mon dossier médical.

Une copie signée de ce formulaire d'information et de consentement doit m'être remise.

NOM

SIGNATURE

**NOM DU REPRÉSENTANT
LÉGAL DU SUJET INAPTE**

**SIGNATURE OBLIGATOIRE
DU REPRÉSENTANT LÉGAL DU
SUJET INAPTE
(SI APPLICABLE)**

Fait à _____, le _____, 20_____.

ENGAGEMENT DU CHERCHEUR

Je, soussigné (e), _____, certifie

(a) avoir expliqué au signataire les termes du présent formulaire;

(b) avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard;

(c) lui avoir clairement indiqué qu'il reste, à tout moment, libre de mettre un terme à sa participation au projet de recherche décrit ci-dessus;

et (d) que je lui remettrai une copie signée et datée du présent formulaire.

Dans le cas d'un sujet inapte (à ajouter si applicable):

(e) m'être assuré (e) que le sujet a compris au maximum de ses capacités tous les aspects de sa participation à l'étude décrite dans le présent formulaire.

Signature du responsable du projet
ou de son représentant

Fait à _____, le _____ 20__.

APPENDICE B

DONNÉES ACOUSTIQUES

Tableau B1
Résultats acoustiques individuels.
Conditions : 1_N= N1, 2_P=P1, 3_P=P2, 4_N=N2. F1,
F2 et F0 en Hertz, la mesure auditive en Bark.

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
al c	1_N	1	300,7	677,2	93,7	4,25
al c	1_N	2	296,8	731,8	95,5	4,42
al c	1_N	3	277,6	700,1	95,5	4,21
al c	1_N	4	274,2	676,5	94,9	4,11
al c	1_N	5	282,6	692,4	95,6	4,21
al c	1_N	6	292,3	666,8	93,5	4,17
al c	1_N	7	290,7	699,5	94,3	4,28
al c	1_N	8	301,3	685,2	94,4	4,28
al c	1_N	9	280,9	651,4	94,4	4,05
al c	1_N	10	282,8	681,9	94,5	4,18
al c	1_N	11	279	661,8	93,3	4,09
al c	1_N	12	283,2	675,9	94,4	4,16
al c	1_N	13	308,1	697,4	95,4	4,35
al c	1_N	14	299,9	684,4	95	4,27
al c	1_N	15	289,1	682,1	95,8	4,20
al c	1_N	16	316,9	992,2	95	5,37
al c	1_N	17	306,4	862,1	95,4	4,91

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
al_c	1_N	18	278,7	700,7	95,6	4,22
al_c	1_N	19	274,2	678,7	94,9	4,12
al_c	2_P	1	290,6	807,5	98,9	4,64
al_c	2_P	2	289,1	796,6	97,7	4,60
al_c	2_P	3	300,7	807,6	99	4,69
al_c	2_P	4	294	807,8	99,1	4,65
al_c	2_P	5	285,7	839,8	98,1	4,72
al_c	2_P	6	290,4	818,2	99,1	4,67
al_c	2_P	7	284,5	865,9	99,6	4,80
al_c	2_P	8	295	888,6	100,1	4,92
al_c	2_P	9	282,7	870,4	98,6	4,81
al_c	2_P	10	296,1	806,5	98,8	4,66
al_c	2_P	11	286	801,2	98,9	4,59
al_c	2_P	12	285,7	841,8	98,4	4,73
al_c	2_P	13	287,2	846,1	99,3	4,75
al_c	2_P	14	288,2	885,2	98	4,88
al_c	2_P	15	288,8	815	98,4	4,66
al_c	2_P	16	300,1	830,4	98,7	4,76
al_c	2_P	17	300	808,2	99,9	4,68
al_c	2_P	18	301,2	840,2	99,3	4,79
al_c	2_P	19	292,2	839,5	97,8	4,76
al_c	3_P	1	291,1	864,3	96,9	4,84
al_c	3_P	2	284,7	813,1	95,8	4,64
al_c	3_P	3	295,7	812,9	95,9	4,70
al_c	3_P	4	295,9	828,6	95,2	4,75
al_c	3_P	5	283	820	97,1	4,65
al_c	3_P	6	288,1	851,5	97	4,78
al_c	3_P	7	283,2	838,4	95,4	4,72
al_c	3_P	8	285,2	845,9	96,9	4,75
al_c	3_P	9	290,4	810,3	98,4	4,65
al_c	3_P	10	286,2	830,2	98,1	4,69
al_c	3_P	11	289,2	803,6	97,8	4,62
al_c	3_P	12	283,5	804	97,7	4,60
al_c	3_P	13	280,8	837	97,1	4,70
al_c	3_P	14	283,7	835,3	95,9	4,71

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
al_c	3_P	15	284,6	806,5	98,5	4,61
al_c	3_P	16	291,7	877,5	99,3	4,87
al_c	3_P	17	279,7	806,7	96,7	4,59
al_c	3_P	18	284,3	810,8	97,6	4,62
al_c	3_P	19	301,2	811,4	96,7	4,71
al_c	4_N	1	274,6	679,5	93,9	4,13
al_c	4_N	2	391,4	915,8	96	5,48
al_c	4_N	3	364	858	96,5	5,17
al_c	4_N	4	320,3	719,4	95,1	4,49
al_c	4_N	5	321,3	693,9	95,6	4,40
al_c	4_N	6	313,1	722,3	96,2	4,46
al_c	4_N	7	296,6	670,9	95,2	4,20
al_c	4_N	8	306,5	728,4	97,9	4,44
al_c	4_N	9	287,9	673,4	96,8	4,16
al_c	4_N	10	289,9	679,6	96,3	4,19
al_c	4_N	11	303,3	767	97,6	4,57
al_c	4_N	12	291	696	96,7	4,26
al_c	4_N	13	291	749,1	96,7	4,45
al_c	4_N	14	295,9	735,3	97,1	4,42
al_c	4_N	15	319,5	723,1	98,4	4,49
al_c	4_N	16	309,9	774,7	97,7	4,62
al_c	4_N	17	290,4	707,7	97,8	4,29
al_c	4_N	18	292,7	707,2	99,4	4,29
al_c	4_N	19	291,6	734,3	98,6	4,39
fb_c	1_N	1	358,5	823,5	85,7	5,09
fb_c	1_N	2	343,9	774,8	90	4,83
fb_c	1_N	3	358,5	823,5	85,7	5,09
fb_c	1_N	4	343,9	774,8	90	4,83
fb_c	1_N	5	350,5	806,4	93,9	4,95
fb_c	1_N	6	340,8	827,4	98,7	4,95
fb_c	1_N	7	345,8	801,9	98,6	4,89
fb_c	1_N	8	353	824,5	97,7	5,00
fb_c	1_N	9	376,7	800,6	103,6	5,00
fb_c	1_N	10	347	819,2	98,6	4,95
fb_c	1_N	11	362,1	763,9	104,8	4,80

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
fb_c	1_N	12	368	849,6	98,6	5,15
fb_c	1_N	13	382,3	780,6	104,1	4,96
fb_c	1_N	14	373,9	814,9	105,7	5,02
fb_c	1_N	15	357,9	822,4	111,1	4,95
fb_c	1_N	16	394,5	819,5	104	5,14
fb_c	1_N	17	380,2	764,7	107,2	4,87
fb_c	1_N	18	383,1	827,5	106,2	5,11
fb_c	1_N	19	349,2	751,6	110,6	4,66
fb_c	2_P	1	396,8	851,1	136,1	5,09
fb_c	2_P	2	398,2	733,6	94,8	4,91
fb_c	2_P	3	362,4	802,6	106,9	4,92
fb_c	2_P	4	363	794,4	112,8	4,87
fb_c	2_P	5	360,6	814,6	114,2	4,92
fb_c	2_P	6	379,5	865,6	109,8	5,20
fb_c	2_P	7	374,9	818,9	126,7	4,93
fb_c	2_P	8	359,4	805,3	120,1	4,85
fb_c	2_P	9	356,7	822,9	118,2	4,90
fb_c	2_P	10	362,3	830,4	122,1	4,93
fb_c	2_P	11	373,1	830,2	113,6	5,03
fb_c	2_P	12	366	842,6	123,5	4,98
fb_c	2_P	13	372,4	803,4	125,5	4,87
fb_c	2_P	14	359	796,5	123,7	4,80
fb_c	2_P	15	367,9	804,6	113,6	4,92
fb_c	2_P	16	346	814,7	120,3	4,81
fb_c	2_P	17	354,3	783	121,1	4,74
fb_c	2_P	18	351,8	836	119,6	4,92
fb_c	2_P	19	371	843,3	125,7	5,00
fb_c	3_P	1	365,2	775,9	123,7	4,76
fb_c	3_P	2	397,4	832,4	127	5,08
fb_c	3_P	3	362,7	825,2	116,8	4,95
fb_c	3_P	4	350,5	831,3	117,5	4,91
fb_c	3_P	5	383,3	819,7	128,4	4,96
fb_c	3_P	6	375,4	794,6	126,9	4,85
fb_c	3_P	7	369,4	805,7	124,3	4,87
fb_c	3_P	8	369,2	803	123,6	4,87

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
fb c	3 P	9	379,3	823,3	127,5	4,96
fb c	3 P	10	382,1	823	134,9	4,93
fb c	3 P	11	388,3	834,5	136,6	5,02
fb c	3 P	12	374,6	855	131,7	5,04
fb c	3 P	13	382,6	842,7	128,7	5,02
fb c	3 P	14	366	801,9	132,5	4,81
fb c	3 P	15	380	786,3	130,7	4,81
fb c	3 P	16	367,3	774,9	133,4	4,70
fb c	3 P	17	376,4	802,3	135,4	4,84
fb c	3 P	18	382,2	802,3	134,5	4,88
fb c	3 P	19	384,5	762,8	132,7	4,75
fb c	4 N	1	355,3	802,3	110,5	4,87
fb c	4 N	2	387,2	813	102	5,10
fb c	4 N	3	372,9	757,9	115,1	4,77
fb c	4 N	4	356,2	734,3	113,3	4,62
fb c	4 N	5	355,9	774,8	111,4	4,77
fb c	4 N	6	349,8	735,5	122,6	4,55
fb c	4 N	7	382,8	770,5	126,6	4,80
fb c	4 N	8	356	737,9	122,8	4,58
fb c	4 N	9	389,1	765,1	126,3	4,82
fb c	4 N	10	365,7	773,5	123,5	4,75
fb c	4 N	11	396,8	771,4	132	4,84
fb c	4 N	12	389,5	797,2	129,8	4,91
fb c	4 N	13	383,1	798,4	127,1	4,90
fb c	4 N	14	392,4	816	136,4	4,95
fb c	4 N	15	392,4	885,8	133,8	5,19
fb c	4 N	16	386,6	783,5	134,1	4,83
fb c	4 N	17	411,2	867	132,1	5,23
fb c	4 N	18	426,8	839	131,9	5,21
fb c	4 N	19	379,2	794,3	133,6	4,83
fl c	1 N	1	392,4	823,1	195,1	4,67
fl c	1 N	2	391,8	822,8	197	4,66
fl c	1 N	3	400,5	829,9	194,3	4,73
fl c	1 N	4	445,8	1028,8	222,8	5,41
fl c	1 N	5	450,8	1157,8	224,4	5,77

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
fl c	1 N	6	395,4	827,5	197,3	4,69
fl c	1 N	7	405,4	847	202	4,77
fl c	1 N	8	453,2	989,3	227,3	5,30
fl c	1 N	9	488,9	1011,3	247,8	5,42
fl c	1 N	10	409,5	923,7	196,9	5,06
fl c	1 N	11	408,3	935,1	198,4	5,08
fl c	1 N	12	456	991,9	228,3	5,32
fl c	1 N	13	451,1	1222,5	225,1	5,94
fl c	1 N	14	410,1	897	201,4	4,96
fl c	1 N	15	409,6	875,3	200,5	4,89
fl c	1 N	16	452,7	1105,4	226,1	5,63
fl c	1 N	17	454,5	1345,4	226,9	6,24
fl c	1 N	18	409,5	889,1	197,4	4,95
fl c	1 N	19	414,3	887,4	199,9	4,95
fl c	2 P	1	420,6	994,6	197,3	5,32
fl c	2 P	2	429,9	974,8	196	5,31
fl c	2 P	3	428,6	942,7	203,3	5,17
fl c	2 P	4	418,6	944	200,1	5,15
fl c	2 P	5	449,5	933,2	220,5	5,15
fl c	2 P	6	457,6	935,4	225	5,17
fl c	2 P	7	425	982,6	199,2	5,30
fl c	2 P	8	427,2	999,8	201,4	5,35
fl c	2 P	9	456,5	997,7	227	5,34
fl c	2 P	10	502	1040,4	251,2	5,54
fl c	2 P	11	423	995,4	198,9	5,33
fl c	2 P	12	438,3	985,4	196,2	5,38
fl c	2 P	13	453,9	1100	224,7	5,63
fl c	2 P	14	423,4	1000,9	199,1	5,35
fl c	2 P	15	425,2	996,5	200,4	5,33
fl c	2 P	16	434,2	991,5	201	5,36
fl c	2 P	17	416,4	992,1	202,1	5,27
fl c	2 P	18	442,2	932,2	218,4	5,12
fl c	2 P	19	414,2	1000,8	200,4	5,30
fl c	3 P	1	398,3	1046	195,6	5,38
fl c	3 P	2	402,7	921,2	196,3	5,03

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
fl c	3 P	3	398,7	999,2	199	5,23
fl c	3 P	4	396,9	976,5	198,3	5,16
fl c	3 P	5	399,7	955,3	197,1	5,11
fl c	3 P	6	450,3	1064,4	226,3	5,51
fl c	3 P	7	443,3	950,7	223	5,16
fl c	3 P	8	449,1	968,8	227,6	5,22
fl c	3 P	9	401,6	1001,6	200,2	5,24
fl c	3 P	10	401,9	1020,4	201,1	5,29
fl c	3 P	11	446,9	962,5	224,7	5,21
fl c	3 P	12	393,8	990,2	197	5,19
fl c	3 P	13	397,9	998,8	199,2	5,22
fl c	3 P	14	391	980,6	195,5	5,16
fl c	3 P	15	443	989,5	221,5	5,29
fl c	3 P	16	444,9	1023,5	223,1	5,38
fl c	3 P	17	394,8	997	198,7	5,21
fl c	3 P	18	399,2	1016,9	199,8	5,28
fl c	3 P	19	445,3	1094	222,7	5,59
fl c	4 N	1	418	907,3	221,8	4,92
fl c	4 N	2	434,6	910,9	226,1	4,99
fl c	4 N	3	390	823,3	200,7	4,63
fl c	4 N	4	385,6	802,7	200	4,54
fl c	4 N	5	444,5	966,5	227	5,20
fl c	4 N	6	446,6	974,8	227,6	5,23
fl c	4 N	7	394,8	906,9	198,3	4,93
fl c	4 N	8	389,9	935,2	196,7	5,01
fl c	4 N	9	444,2	1019,2	224,7	5,36
fl c	4 N	10	485,8	1003,3	247,5	5,38
fl c	4 N	11	398,2	999,8	199,2	5,23
fl c	4 N	12	396,8	923,7	198,7	4,99
fl c	4 N	13	438,2	1014,9	219,3	5,35
fl c	4 N	14	440,7	986,7	221,5	5,27
fl c	4 N	15	392,6	892,9	196,7	4,89
fl c	4 N	16	386,2	831	194,1	4,67
fl c	4 N	17	439,5	1049,5	220,1	5,45
fl c	4 N	18	478,4	967	245,4	5,25

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
fl_c	4_N	19	388	961,7	197,4	5,08
sd_c	1_N	1	354,3	675,5	131,9	4,30
sd_c	1_N	2	342,4	670,4	130,2	4,23
sd_c	1_N	3	331,5	682,5	134,6	4,20
sd_c	1_N	4	343,1	671	131,3	4,23
sd_c	1_N	5	306,4	685,3	134,9	4,09
sd_c	1_N	6	305,3	699,9	137	4,13
sd_c	1_N	7	304,7	667	135,5	4,01
sd_c	1_N	8	359,8	755,8	133	4,61
sd_c	1_N	9	320,5	704,6	134,8	4,23
sd_c	1_N	10	314	705,1	136,6	4,19
sd_c	1_N	11	316,8	667,3	132,5	4,09
sd_c	1_N	12	300,9	701,9	141,1	4,09
sd_c	1_N	13	334,8	718	130,9	4,37
sd_c	1_N	14	334,1	710,6	129,4	4,35
sd_c	1_N	15	349,1	752,8	124,9	4,59
sd_c	1_N	16	350,2	735,5	123,7	4,54
sd_c	1_N	17	350	731,6	121,8	4,54
sd_c	1_N	18	347,9	739,1	123,3	4,55
sd_c	1_N	19	344,5	714	122,8	4,44
sd_c	2_P	1	368,6	874,6	131,2	5,06
sd_c	2_P	2	375,6	869,9	130,8	5,08
sd_c	2_P	3	368,4	898,1	128,4	5,15
sd_c	2_P	4	371,1	906	128	5,19
sd_c	2_P	5	367,1	900,3	127	5,16
sd_c	2_P	6	369,6	908,7	128	5,19
sd_c	2_P	7	359,4	911,8	125,3	5,17
sd_c	2_P	8	357,9	879,2	124,8	5,06
sd_c	2_P	9	368,6	909,7	125,3	5,20
sd_c	2_P	10	366,2	909,2	124,2	5,20
sd_c	2_P	11	360,3	874,8	122,7	5,07
sd_c	2_P	12	361,3	817,4	126,4	4,86
sd_c	2_P	13	372,4	909	125,1	5,22
sd_c	2_P	14	376	861,8	126,2	5,08
sd_c	2_P	15	362,8	789,2	126,7	4,77

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
sd c	2 P	16	372,1	834,8	126,3	4,97
sd c	2 P	17	373,8	902,3	126,7	5,20
sd c	2 P	18	370	908,5	127,3	5,20
sd c	2 P	19	366,9	890,5	126,5	5,13
sd c	3 P	1	356,4	870,1	123,4	5,03
sd c	3 P	2	360,2	873,5	124,7	5,05
sd c	3 P	3	364,2	885,3	127,4	5,09
sd c	3 P	4	357,7	782,6	127,3	4,72
sd c	3 P	5	353	854,7	124,6	4,96
sd c	3 P	6	365,7	790,2	122,5	4,81
sd c	3 P	7	361,1	876,9	125,4	5,06
sd c	3 P	8	370,7	854,7	126,7	5,03
sd c	3 P	9	354	871,1	125,2	5,01
sd c	3 P	10	352,2	837,9	121,5	4,91
sd c	3 P	11	361,7	857,7	122,4	5,02
sd c	3 P	12	365,1	753,6	122,4	4,68
sd c	3 P	13	363,1	760,7	121,3	4,71
sd c	3 P	14	366,9	871,6	122,9	5,09
sd c	3 P	15	359,9	858,1	124,1	5,00
sd c	3 P	16	363,7	864,6	125,9	5,03
sd c	3 P	17	355,3	872,3	123,2	5,03
sd c	3 P	18	356,5	773,3	126,4	4,69
sd c	3 P	19	367,8	839	126,6	4,96
sd c	4 N	1	429	649,3	128,2	4,56
sd c	4 N	2	348,7	668,2	123,8	4,29
sd c	4 N	3	353,5	676,1	124,1	4,34
sd c	4 N	4	356	693,8	123,9	4,42
sd c	4 N	5	349,8	663	123,3	4,28
sd c	4 N	6	349,8	715,2	123,3	4,47
sd c	4 N	7	334,6	601,7	123	3,97
sd c	4 N	8	363,6	670	125,4	4,36
sd c	4 N	9	335,7	631,8	127,6	4,07
sd c	4 N	10	353,4	701,6	122,3	4,44
sd c	4 N	11	336,8	721,6	124,5	4,42
sd c	4 N	12	351,2	722,5	123,6	4,50

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
sd c	4 N	13	347,1	696,4	123,1	4,39
sd c	4 N	14	346,7	699,3	124,3	4,39
sd c	4 N	15	357,3	747,8	125,5	4,61
sd c	4 N	16	343	742,1	122,8	4,54
sd c	4 N	17	344,3	737,1	122,4	4,53
sd c	4 N	18	348,2	746,7	124,7	4,57
sd c	4 N	19	347,5	741,6	124,2	4,55
ac e	1 N	1	390,9	1018,7	206,5	5,21
ac e	1 N	2	300,1	950,7	144,7	4,90
ac e	1 N	3	279,8	1311,3	264,3	5,16
ac e	1 N	4	357,8	1318,1	190,5	5,93
ac e	1 N	5	403,1	1813,5	200,2	7,11
ac e	1 N	6	369,7	1022,7	190,5	5,21
ac e	1 N	7	373,9	1064,7	191,2	5,34
ac e	1 N	8	401,4	1034,5	205,8	5,31
ac e	1 N	9	406,5	1324	216,6	6,03
ac e	1 N	10	336,6	913,3	182,9	4,76
ac e	1 N	11	331	1238,8	165	5,74
ac e	1 N	12	339,4	961,4	192,3	4,87
ac e	1 N	13	365,9	995,5	198,4	5,07
ac e	1 N	14	371,7	948,4	191,3	4,99
ac e	1 N	15	354,9	1137	182,6	5,50
ac e	1 N	16	365,5	937,3	187,1	4,95
ac e	1 N	17	395,4	1162,2	199,3	5,66
ac e	1 N	18	404,9	983,5	204,6	5,18
ac e	1 N	19	332,8	982,3	164,7	5,05
ac e	2 P	1	384,7	979,2	187,6	5,16
ac e	2 P	2	325,8	1043,3	144,7	5,30
ac e	2 P	3	367,5	1033,1	172,8	5,32
ac e	2 P	4	344,6	995,6	163,8	5,15
ac e	2 P	5	344,6	995,6	163,8	5,15
ac e	2 P	6	404,5	1023	205,4	5,29
ac e	2 P	7	365,6	1039,3	184,5	5,27
ac e	2 P	8	391,3	990,5	199,4	5,17
ac e	2 P	9	429,4	957	152,8	5,48

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
ac_e	2_P	10	394,6	993,4	198,9	5,19
ac_e	2_P	11	412,9	965,9	162,3	5,39
ac_e	2_P	12	401	1011,4	203,4	5,25
ac_e	2_P	13	393,2	918,8	179,7	5,06
ac_e	2_P	14	375	1019,2	192,9	5,21
ac_e	2_P	15	363,9	1092,8	182,9	5,42
ac_e	2_P	16	404,4	1033	203	5,33
ac_e	2_P	17	345,4	1044,8	169,5	5,26
ac_e	2_P	18	398,9	1031,9	201,3	5,31
ac_e	2_P	19	330,4	1148,8	165,4	5,50
ac_e	3_P	1	378,5	1040,9	187,9	5,31
ac_e	3_P	2	341,2	1027,7	164,8	5,22
ac_e	3_P	3	381	972,5	157,5	5,31
ac_e	3_P	4	349,5	1054	153,3	5,39
ac_e	3_P	5	341,4	1105,3	251,3	4,99
ac_e	3_P	6	397,7	955,1	154,4	5,32
ac_e	3_P	7	420,5	1042,7	214,1	5,38
ac_e	3_P	8	339,7	1239,5	152,4	5,85
ac_e	3_P	9	385,4	1210	200,6	5,74
ac_e	3_P	10	350,8	1051,9	173,5	5,29
ac_e	3_P	11	387,1	1046,2	188,2	5,37
ac_e	3_P	12	344,6	1129,1	164,5	5,52
ac_e	3_P	13	333,2	1019,3	268,9	4,63
ac_e	3_P	14	342,8	1034,6	172,7	5,21
ac_e	3_P	15	406,5	1197,3	207,7	5,76
ac_e	3_P	16	328,5	1048,3	149,5	5,30
ac_e	3_P	17	390,5	973,8	233,8	4,94
ac_e	3_P	18	350,4	1131,2	160,5	5,57
ac_e	3_P	19	394,8	1054,2	198,1	5,37
ac_e	4_N	1	351,8	896,4	184,2	4,77
ac_e	4_N	2	302	875,6	143,5	4,68
ac_e	4_N	3	348,5	873	174,6	4,73
ac_e	4_N	4	355,2	978,2	150,4	5,22
ac_e	4_N	5	391,8	826,7	204	4,63
ac_e	4_N	6	305,7	922,6	152,8	4,80

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
ac_e	4_N	7	364,8	940,6	186,9	4,96
ac_e	4_N	8	306,8	925,2	153	4,81
ac_e	4_N	9	385,4	891	212,7	4,77
ac_e	4_N	10	302	945,9	144,8	4,89
ac_e	4_N	11	385,7	863,8	201,7	4,74
ac_e	4_N	12	326,1	1090,3	160,8	5,34
ac_e	4_N	13	378,1	824,9	211,2	4,53
ac_e	4_N	14	305,9	1053	152,4	5,19
ac_e	4_N	15	365,1	959,2	187,2	5,01
ac_e	4_N	16	309,9	1075,1	150,9	5,28
ac_e	4_N	17	359,9	921,5	174,3	4,94
ac_e	4_N	18	306,3	1278,7	155,5	5,77
ac_e	4_N	19	373,1	1107	189,7	5,46
bt_e	1_N	1	327,2	717,6	122,7	4,37
bt_e	1_N	2	521	828,3	119,6	5,65
bt_e	1_N	3	352,6	766	110,4	4,73
bt_e	1_N	4	408,2	749,8	108	4,95
bt_e	1_N	5	381,9	882,1	114,4	5,24
bt_e	1_N	6	393,2	745,3	110,2	4,85
bt_e	1_N	7	365,8	907,4	123,4	5,19
bt_e	1_N	8	365,9	805,4	112	4,92
bt_e	1_N	9	404,4	967,9	117,4	5,59
bt_e	1_N	10	378,3	803,3	111	4,98
bt_e	1_N	11	343	724,9	118,9	4,50
bt_e	1_N	12	354,8	754,1	119,6	4,65
bt_e	1_N	13	345,6	800,9	112,6	4,81
bt_e	1_N	14	360,7	754	99	4,79
bt_e	1_N	15	310,9	746,9	123,3	4,40
bt_e	1_N	16	370,7	799,8	111,7	4,93
bt_e	1_N	17	425,7	892,1	113,9	5,47
bt_e	1_N	18	385,2	961,4	113,6	5,50
bt_e	1_N	19	333,4	719,8	120,8	4,42
bt_e	2_P	1	291,8	943,3	154,2	4,79
bt_e	2_P	2	358,2	977,7	130,2	5,34
bt_e	2_P	3	357,3	906,3	127,8	5,13

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
bt_e	2_P	4	279,4	891	131,2	4,68
bt_e	2_P	5	362,2	865,6	127,9	5,02
bt_e	2_P	6	356,5	870,1	125	5,02
bt_e	2_P	7	372,8	897,9	133,9	5,14
bt_e	2_P	8	358	876,7	137	4,99
bt_e	2_P	9	342,6	843	129,2	4,85
bt_e	2_P	10	331,2	883,6	131,9	4,91
bt_e	2_P	11	383,5	564,4	138	3,97
bt_e	2_P	12	388,5	849	136,4	5,04
bt_e	2_P	13	367,2	907,2	140,1	5,11
bt_e	2_P	14	362,5	809,8	128,8	4,83
bt_e	2_P	15	348,8	923,6	128,6	5,14
bt_e	2_P	16	330,2	884	127,4	4,93
bt_e	2_P	17	355,3	809,9	131,3	4,78
bt_e	2_P	18	375,6	918,8	133,9	5,22
bt_e	2_P	19	356,5	849,6	125,6	4,95
bt_e	3_P	1	298,5	925,6	151,8	4,78
bt_e	3_P	2	348,7	913,6	132,6	5,08
bt_e	3_P	3	290,8	894,8	144,1	4,68
bt_e	3_P	4	299,2	890,7	145,7	4,70
bt_e	3_P	5	358,3	823	135,8	4,82
bt_e	3_P	6	359,3	737,3	138,1	4,52
bt_e	3_P	7	341,7	792,9	124,1	4,70
bt_e	3_P	8	352,5	897,3	125,7	5,09
bt_e	3_P	9	376,9	931,2	136,4	5,25
bt_e	3_P	10	346,9	828,7	127,8	4,83
bt_e	3_P	11	324,5	775,4	138,9	4,48
bt_e	3_P	12	327	917,1	134,3	4,98
bt_e	3_P	13	341,1	866,8	123,8	4,94
bt_e	3_P	14	329,3	844,4	127,4	4,80
bt_e	3_P	15	336,9	1083,3	126	5,56
bt_e	3_P	16	309,2	895,9	127,1	4,87
bt_e	3_P	17	312,9	891	131,8	4,84
bt_e	3_P	18	325,5	941,4	135,5	5,04
bt_e	3_P	19	334,7	921,3	130,6	5,05

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
bt_e	4_N	1	296	910,6	150,6	4,72
bt_e	4_N	2	348,7	913,6	132,6	5,08
bt_e	4_N	3	303,3	955,4	142,1	4,94
bt_e	4_N	4	307,5	879,7	144,5	4,71
bt_e	4_N	5	359,8	827,1	135,9	4,84
bt_e	4_N	6	333,4	841,7	142,9	4,72
bt_e	4_N	7	343,2	823,9	125,4	4,81
bt_e	4_N	8	350,3	881,4	125,2	5,03
bt_e	4_N	9	373,9	952,2	136	5,30
bt_e	4_N	10	347,2	830,9	127,9	4,83
bt_e	4_N	11	326,1	856,4	138	4,76
bt_e	4_N	12	327,4	916,5	134,2	4,98
bt_e	4_N	13	340,4	869,4	124	4,95
bt_e	4_N	14	328,5	838,3	127,6	4,77
bt_e	4_N	15	295,3	880,3	128,3	4,74
bt_e	4_N	16	310,3	892,6	126,9	4,86
bt_e	4_N	17	311,5	888,1	132,4	4,82
bt_e	4_N	18	331,6	873,6	136	4,86
bt_e	4_N	19	340	920,5	130,7	5,07
dm_e	1_N	1	215,4	730,2	191	3,51
dm_e	1_N	2	268	623,9	192,7	3,37
dm_e	1_N	3	288,6	640,1	136,2	3,83
dm_e	1_N	4	284,6	583,4	151,7	3,50
dm_e	1_N	5	298,1	420,7	161	2,83
dm_e	1_N	6	266	689,3	139,7	3,88
dm_e	1_N	7	267,1	692,8	201,3	3,58
dm_e	1_N	8	298,7	757,5	152,9	4,22
dm_e	1_N	9	335,1	596,9	139,1	3,87
dm_e	1_N	10	243,2	722,7	165,3	3,75
dm_e	1_N	11	294,95	693,2	164,2	3,91
dm_e	1_N	12	293,1	638,2	243,4	3,29
dm_e	1_N	13	326,2	722,7	208,3	3,94
dm_e	1_N	14	487	652,9	175,5	4,59
dm_e	1_N	15	513,7	781,9	169	5,20
dm_e	1_N	16	339,7	599,1	162,8	3,77

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
dm_e	1_N	17	290,6	508,3	153,3	3,21
dm_e	1_N	18	312,1	827,5	131,8	4,63
dm_e	1_N	19	313,7	736,8	207,6	3,93
dm_e	2_P	1	282,7	917,9	230,3	4,27
dm_e	2_P	2	272,9	848,4	206,8	4,12
dm_e	2_P	3	300,7	902,4	185,1	4,54
dm_e	2_P	4	220,3	755,1	191	3,62
dm_e	2_P	5	273	895,5	207,9	4,27
dm_e	2_P	6	254	890,3	200,7	4,19
dm_e	2_P	7	270,6	879,8	199	4,25
dm_e	2_P	8	249,7	754,2	194,3	3,75
dm_e	2_P	9	230,6	771,7	195,4	3,71
dm_e	2_P	10	281,9	908,5	182,4	4,48
dm_e	2_P	11	259,6	822,8	196,6	4,02
dm_e	2_P	12	258,7	791,9	197,3	3,91
dm_e	2_P	13	289,6	872,2	173,9	4,45
dm_e	2_P	14	407,1	748,9	215,3	4,38
dm_e	2_P	15	275,4	786,2	203,6	3,94
dm_e	2_P	16	306,3	807,5	201,9	4,17
dm_e	2_P	17	260,7	906,9	221,4	4,17
dm_e	2_P	18	307,6	849,4	211,5	4,27
dm_e	2_P	19	368,6	936,2	234,2	4,72
dm_e	3_P	1	317,7	886,6	226,9	4,36
dm_e	3_P	2	258,8	856	187,9	4,17
dm_e	3_P	3	248	898	162,2	4,39
dm_e	3_P	4	259,7	888,1	217,3	4,13
dm_e	3_P	5	257	917,5	189,6	4,35
dm_e	3_P	6	232,3	865,8	184,6	4,09
dm_e	3_P	7	286,2	891	211,8	4,30
dm_e	3_P	8	263,2	835,2	173,6	4,20
dm_e	3_P	9	217,3	970,1	178,6	4,37
dm_e	3_P	10	220,6	928,6	181,4	4,24
dm_e	3_P	11	289,2	837,3	215,4	4,12
dm_e	3_P	12	304,6	937,1	234,7	4,41
dm_e	3_P	13	211,6	806,3	188,8	3,76

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
dm_e	3_P	14	223,3	923,9	178,9	4,25
dm_e	3_P	15	209,5	986,3	193,5	4,30
dm_e	3_P	16	409,4	955,3	174,8	5,27
dm_e	3_P	17	234,8	925,1	208,5	4,16
dm_e	3_P	18	285,2	584,3	213,3	3,19
dm_e	3_P	19	352,2	889	169,1	4,83
dm_e	4_N	1	337,1	815,5	278,2	3,96
dm_e	4_N	2	392,2	584,3	240	3,56
dm_e	4_N	3	319,4	760,4	153,8	4,32
dm_e	4_N	4	285,8	684,9	155,8	3,88
dm_e	4_N	5	503,1	622	164,1	4,60
dm_e	4_N	6	325	681,1	208,3	3,78
dm_e	4_N	7	232	622,5	185,3	3,22
dm_e	4_N	8	331,1	508,83	226	3,04
dm_e	4_N	9	364,9	533,99	257,9	3,14
dm_e	4_N	10	330,4	433,34	173,8	2,97
dm_e	4_N	11	229,1	802,2	193,7	3,81
dm_e	4_N	12	292,3	795,8	206,4	4,04
dm_e	4_N	13	257,8	929,4	222	4,22
dm_e	4_N	14	275,3	908,4	245,3	4,13
dm_e	4_N	15	290,7	917,4	250	4,21
dm_e	4_N	16	272,7	888,4	241,3	4,07
dm_e	4_N	17	229,4	833,5	193,6	3,92
dm_e	4_N	18	406,1	878,5	226,1	4,75
dm_e	4_N	19	219,5	780,3	194,9	3,68
fg_e	1_N	1	473,8	980,2	220,6	5,40
fg_e	1_N	2	489,4	800,9	201,9	4,99
fg_e	1_N	3	456,5	859,7	217,8	4,96
fg_e	1_N	4	453,8	865,2	223,9	4,94
fg_e	1_N	5	435,8	895,8	224,7	4,95
fg_e	1_N	6	460	807,2	181,9	4,99
fg_e	1_N	8	440	877,4	219,7	4,94
fg_e	1_N	9	411,9	681,7	224	4,11
fg_e	1_N	10	417,2	847,5	206,1	4,81
fg_e	1_N	11	421,9	869,7	214,4	4,86

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
fg_e	1_N	12	357,1	783,4	191,4	4,39
fg_e	1_N	13	467,3	954,2	235,4	5,22
fg_e	1_N	14	438,1	858,4	214,9	4,89
fg_e	1_N	15	458	855,1	192,7	5,08
fg_e	1_N	16	347,9	602,4	195,9	3,65
fg_e	1_N	17	405	871,4	198,4	4,87
fg_e	1_N	18	335,1	760,5	192,2	4,20
fg_e	1_N	19	410,9	855,7	203,8	4,82
fg_e	1_N	20	378,1	829	150,4	4,71
fg_e	2_P	1	378,9	1211,7	194,7	5,91
fg_e	2_P	2	359,6	1174,2	196,1	5,55
fg_e	2_P	3	322,6	1012,6	201,8	4,92
fg_e	2_P	4	392,5	1270,9	210,3	5,91
fg_e	2_P	5	415	1067,2	196,9	5,44
fg_e	2_P	6	425,4	1110,5	207,5	5,68
fg_e	2_P	7	417,3	1199,6	191,6	5,82
fg_e	2_P	8	383,1	1167	205	5,66
fg_e	2_P	9	417,3	1110,8	201	5,60
fg_e	2_P	10	401,5	983,7	217,4	5,19
fg_e	2_P	11	434,6	1085,3	225,2	5,54
fg_e	2_P	12	454	1248,4	210,9	6,02
fg_e	2_P	13	421,4	1201,3	221,3	5,83
fg_e	2_P	14	440,3	1205,1	227,1	5,87
fg_e	2_P	15	457,3	1340,7	207,4	6,24
fg_e	2_P	16	414,8	1052,6	202	5,41
fg_e	2_P	17	401,3	1014,5	183,2	5,27
fg_e	2_P	18	387,1	1074,1	221,6	5,47
fg_e	2_P	19	437,9	1211,9	209,6	5,87
fg_e	3_P	1	298,5	1183	288,9	4,81
fg_e	3_P	2	345,4	973,9	171,5	5,05
fg_e	3_P	3	335,3	1210,9	172,5	5,65
fg_e	3_P	4	328,6	1151,3	176,8	5,44
fg_e	3_P	5	361,9	1219,6	180,5	5,75
fg_e	3_P	6	324,9	1072	174,7	5,22
fg_e	3_P	7	275,9	1093,2	186,2	4,98

Locuteur	Cond.	Occ.	F1	F2	F0	M. aud.
fg_e	3_P	8	301,2	1106,1	150,7	5,32
fg_e	3_P	9	351,4	1276,4	174,4	5,88
fg_e	3_P	10	352,2	1263,5	170,9	5,87
fg_e	3_P	11	332,8	1117,3	162,8	5,44
fg_e	3_P	12	321,8	983,2	172,2	4,96
fg_e	3_P	13	356,3	969,1	175,7	5,06
fg_e	3_P	14	337,1	1183,1	154,6	5,68
fg_e	3_P	15	278,4	1181,2	180,1	5,25
fg_e	3_P	16	286,6	990,8	191,1	4,71
fg_e	3_P	17	245,5	977,9	195,1	4,45
fg_e	3_P	18	252,5	994,4	210,8	4,45
fg_e	3_P	19	366	1114,9	250,6	5,14
fg_e	4_N	1	332	886,26	192,6	4,82
fg_e	4_N	2	292,5	818,8	187,8	4,19
fg_e	4_N	3	312,7	533,9	208,1	3,25
fg_e	4_N	4	232,5	533,8	221,4	2,75
fg_e	4_N	5	269,7	596,9	253,8	3,12
fg_e	4_N	6	389,1	736,6	253,3	4,06
fg_e	4_N	7	316,6	824,5	230,4	4,02
fg_e	4_N	8	294	596,9	243,4	3,20
fg_e	4_N	9	477,6	802,3	244,3	4,73
fg_e	4_N	10	229,1	731,9	285,8	3,31
fg_e	4_N	11	377,3	659,8	283,5	3,56
fg_e	4_N	12	340,1	759,7	301,7	3,76
fg_e	4_N	13	311,9	860,8	298,2	3,88
fg_e	4_N	14	436	886,8	272,5	4,56
fg_e	4_N	15	288,3	830,4	294,6	3,80
fg_e	4_N	16	357,1	891,3	322,1	4,22
fg_e	4_N	17	355,1	839,1	299,6	3,91
fg_e	4_N	18	386,7	771,5	319,9	3,94
fg_e	4_N	19	350,5	818,5	162,7	3,83

APPENDICE C

RÉSULTATS ET ANALYSES STATISTIQUES ARTICULATOIRES

Tableau C1
Résultats articulatoires individuels.
Conditions : 1_N= N1, 2_P=P1, 3_P=P2, 4_N=N2.
y_deymax et x_de_ymax en pixels.

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de_ymax	x_de_ymax
al_c	1_N	1	1.01	1.78	-191.51	335.06
al_c	1_N	2	0.47	2.81	-177.15	349.80
al_c	1_N	3	0.94	1.64	-184.08	324.55
al_c	1_N	4	1.01	1.61	-181.76	338.83
al_c	1_N	5	1.02	1.40	-183.56	343.11
al_c	1_N	6	0.95	1.85	-181.24	344.42
al_c	1_N	7	1.14	1.77	-179.83	336.74
al_c	1_N	8	1.17	1.56	-186.47	339.17
al_c	1_N	9	0.99	1.76	-188.15	337.78
al_c	1_N	10	1.19	1.67	-184.40	347.24
al_c	1_N	11	1.08	1.82	-185.94	341.53
al_c	1_N	12	1.19	2.33	-187.70	349.47
al_c	1_N	13	1.21	1.73	-182.52	346.51
al_c	1_N	14	1.19	1.85	-190.26	333.76
al_c	1_N	15	1.27	1.62	-191.72	336.35
al_c	1_N	16	1.18	1.49	-192.60	331.44

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de ymax	x_de ymax
al c	1 N	17	0.95	1.85	-189.56	330.11
al c	1 N	18	0.96	1.68	-182.68	334.61
al c	1 N	19	1.01	1.81	-187.79	340.66
al c	2 P	1	0.81	1.97	-179.02	324.27
al c	2 P	2	0.86	1.64	-178.44	321.49
al c	2 P	3	0.80	1.62	-170.83	329.55
al c	2 P	4	0.67	1.69	-173.62	325.05
al c	2 P	5	0.93	1.70	-172.95	338.99
al c	2 P	7	0.76	1.79	-188.61	329.53
al c	2 P	8	0.99	1.71	-176.69	335.53
al c	2 P	9	0.82	1.98	-183.84	332.03
al c	2 P	10	1.23	2.11	-187.15	328.26
al c	2 P	11	0.91	1.63	-175.35	322.17
al c	2 P	12	0.76	1.90	-181.60	323.86
al c	2 P	13	1.06	1.67	-175.45	320.04
al c	2 P	14	0.70	1.82	-175.59	324.38
al c	2 P	15	0.67	1.93	-179.21	323.66
al c	2 P	16	0.94	2.00	-178.57	327.08
al c	2 P	17	0.93	1.78	-177.57	330.47
al c	2 P	18	1.08	2.00	-184.30	334.52
al c	2 P	19	0.72	1.88	-179.63	317.59
al c	3 P	1	0.98	1.82	-173.28	332.84
al c	3 P	2	0.85	1.86	-175.14	319.76
al c	3 P	3	0.91	1.87	-178.48	321.61
al c	3 P	4	1.00	1.85	-174.12	319.60
al c	3 P	5	0.67	2.04	-187.24	323.52
al c	3 P	6	0.83	2.17	-175.51	326.76
al c	3 P	7	0.80	1.79	-175.51	323.96
al c	3 P	8	0.83	1.78	-184.95	322.48
al c	3 P	9	0.72	1.87	-179.18	324.97
al c	3 P	10	0.60	2.06	-175.38	325.90
al c	3 P	11	0.66	1.84	-175.39	323.93
al c	3 P	12	0.83	1.80	-174.82	329.25
al c	3 P	13	0.72	1.80	-172.75	321.96
al c	3 P	14	1.00	2.03	-181.06	332.72

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de ymax	x_de ymax
al_c	3_P	15	0.73	2.05	-176.45	322.36
al_c	3_P	16	1.17	2.14	-175.26	340.10
al_c	3_P	17	0.63	1.98	-180.20	322.56
al_c	3_P	18	0.66	1.81	-172.75	317.92
al_c	3_P	19	0.83	2.20	-179.24	333.95
al_c	4_N	1	0.97	1.74	-183.67	322.67
al_c	4_N	2	0.99	1.86	-186.13	331.92
al_c	4_N	3	0.97	1.86	-184.91	330.19
al_c	4_N	4	0.82	1.50	-183.91	339.91
al_c	4_N	5	0.90	1.66	-181.46	341.02
al_c	4_N	6	1.13	2.22	-183.31	333.98
al_c	4_N	7	0.65	1.52	-174.87	324.66
al_c	4_N	8	0.62	1.47	-178.64	329.83
al_c	4_N	9	0.79	1.92	-184.96	329.98
al_c	4_N	10	0.81	1.69	-180.60	330.71
al_c	4_N	11	0.82	1.87	-180.23	334.01
al_c	4_N	12	0.94	1.64	-175.98	333.92
al_c	4_N	13	0.70	1.87	-176.04	338.70
al_c	4_N	14	0.72	2.03	-174.61	348.22
al_c	4_N	15	1.06	1.87	-184.54	339.80
al_c	4_N	16	0.64	1.49	-178.24	339.14
al_c	4_N	17	0.60	1.69	-181.31	337.94
al_c	4_N	18	0.62	1.96	-174.43	346.36
al_c	4_N	19	1.21	1.90	-181.56	333.87
fb_c	1_N	1	1.10	3.00	-239.72	325.68
fb_c	1_N	2	0.65	2.65	-244.29	315.71
fb_c	1_N	3	0.88	2.82	-245.21	316.85
fb_c	1_N	4	0.91	2.50	-246.23	318.24
fb_c	1_N	5	0.95	3.16	-249.76	317.45
fb_c	1_N	6	0.62	2.31	-244.31	315.43
fb_c	1_N	7	0.96	2.20	-238.77	322.93
fb_c	1_N	8	0.97	2.17	-241.67	327.02
fb_c	1_N	9	0.70	2.70	-240.16	315.35
fb_c	1_N	10	0.84	2.08	-240.14	321.27
fb_c	1_N	11	0.85	2.66	-239.49	323.79

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de_ymax	x_de_ymax
fb_c	1_N	12	0.91	2.56	-242.51	315.96
fb_c	1_N	13	0.71	2.41	-243.88	317.64
fb_c	1_N	14	0.61	2.61	-245.35	312.11
fb_c	1_N	15	0.72	2.24	-244.66	321.43
fb_c	1_N	16	0.67	2.85	-246.61	313.45
fb_c	1_N	17	0.80	2.14	-240.06	317.84
fb_c	1_N	18	0.64	2.40	-245.05	314.34
fb_c	1_N	19	0.78	2.94	-242.68	322.51
fb_c	2_P	1	0.76	2.21	-236.21	315.80
fb_c	2_P	2	0.81	2.44	-241.40	313.41
fb_c	2_P	3	1.03	2.45	-244.43	311.37
fb_c	2_P	4	0.87	2.47	-243.15	315.13
fb_c	2_P	5	0.71	2.34	-243.36	301.41
fb_c	2_P	6	0.92	2.43	-243.41	310.77
fb_c	2_P	7	0.68	2.64	-242.93	311.28
fb_c	2_P	8	0.80	2.24	-244.45	307.49
fb_c	2_P	9	0.83	2.48	-242.63	307.57
fb_c	2_P	10	0.99	2.27	-241.26	315.75
fb_c	2_P	11	0.80	2.09	-240.86	306.72
fb_c	2_P	12	0.90	2.81	-242.55	310.35
fb_c	2_P	13	1.10	1.98	-239.57	318.47
fb_c	2_P	14	0.72	2.74	-240.99	310.31
fb_c	2_P	15	1.09	2.88	-240.52	311.82
fb_c	2_P	16	0.90	2.44	-244.02	304.09
fb_c	2_P	17	0.81	2.39	-240.90	312.55
fb_c	2_P	18	0.86	3.09	-236.98	317.53
fb_c	2_P	19	0.83	2.82	-245.26	309.03
fb_c	3_P	1	1.07	2.67	-241.90	316.45
fb_c	3_P	2	0.66	3.26	-242.63	312.43
fb_c	3_P	3	0.82	2.47	-244.07	308.19
fb_c	3_P	4	0.70	2.64	-247.49	315.11
fb_c	3_P	5	0.77	3.06	-244.38	315.81
fb_c	3_P	6	1.03	2.45	-243.41	303.38
fb_c	3_P	7	0.72	2.32	-241.52	304.14
fb_c	3_P	8	0.85	2.56	-242.34	306.11

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de_ymax	x_de_ymax
fb_c	3_P	9	1.38	2.49	-246.37	310.93
fb_c	3_P	10	0.89	2.36	-240.03	308.90
fb_c	3_P	11	0.65	2.54	-243.04	307.34
fb_c	3_P	12	0.86	2.57	-247.06	310.95
fb_c	3_P	13	0.77	2.75	-241.00	304.94
fb_c	3_P	14	0.98	2.84	-243.64	313.27
fb_c	3_P	15	0.96	3.23	-244.68	310.48
fb_c	3_P	16	1.08	3.05	-240.15	306.48
fb_c	3_P	17	0.63	3.12	-243.37	297.38
fb_c	3_P	18	0.87	3.01	-241.77	314.16
fb_c	3_P	19	0.82	2.65	-242.14	307.99
fb_c	4_N	1	0.54	2.48	-244.26	312.58
fb_c	4_N	2	0.78	3.06	-246.85	317.66
fb_c	4_N	3	0.76	2.15	-243.10	314.60
fb_c	4_N	5	0.79	2.64	-241.46	314.78
fb_c	4_N	6	0.87	2.54	-242.83	317.45
fb_c	4_N	7	0.92	2.49	-241.93	320.41
fb_c	4_N	8	0.58	2.62	-243.34	311.74
fb_c	4_N	9	0.75	2.59	-242.35	313.86
fb_c	4_N	10	0.88	2.56	-242.82	318.09
fb_c	4_N	11	0.88	2.25	-242.08	312.26
fb_c	4_N	12	1.14	2.48	-242.44	320.28
fb_c	4_N	13	0.82	2.54	-244.61	322.88
fb_c	4_N	14	1.21	2.07	-240.85	319.23
fb_c	4_N	15	0.83	2.54	-246.73	313.42
fb_c	4_N	16	1.02	2.43	-248.30	312.49
fb_c	4_N	17	0.89	2.68	-243.60	312.45
fb_c	4_N	18	0.80	2.36	-241.07	317.87
fb_c	4_N	19	0.72	2.40	-242.43	315.73
fb_c	4_N	20	0.76	2.98	-243.46	313.68
fl_c	1_N	1	1.13	2.69	-220.48	377.66
fl_c	1_N	2	1.50	2.38	-218.26	376.54
fl_c	1_N	3	1.28	2.42	-221.09	363.08
fl_c	1_N	4	1.58	2.47	-214.83	374.35
fl_c	1_N	5	1.20	2.57	-215.39	370.57

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de_ymax	x_de_ymax
fl_c	1_N	6	1.35	2.34	-210.93	365.96
fl_c	1_N	7	1.15	2.15	-211.32	370.97
fl_c	1_N	8	1.29	2.60	-220.39	378.00
fl_c	1_N	9	1.10	2.31	-214.22	379.22
fl_c	1_N	10	1.12	2.76	-215.54	369.81
fl_c	1_N	11	1.19	2.67	-215.84	365.85
fl_c	1_N	12	1.21	2.55	-216.74	374.16
fl_c	1_N	13	1.01	2.38	-211.75	362.55
fl_c	1_N	14	1.09	2.50	-215.17	367.89
fl_c	1_N	15	1.23	2.23	-207.43	367.13
fl_c	1_N	16	1.53	2.57	-216.82	377.09
fl_c	1_N	17	2.03	2.85	-213.21	377.00
fl_c	1_N	18	1.55	2.59	-220.84	370.55
fl_c	1_N	19	1.14	2.41	-216.15	360.70
fl_c	2_P	1	0.86	2.20	-211.29	360.95
fl_c	2_P	2	1.03	2.22	-211.20	366.77
fl_c	2_P	3	0.95	2.31	-211.13	359.00
fl_c	2_P	4	1.23	2.09	-208.91	367.70
fl_c	2_P	5	1.32	2.43	-214.37	368.19
fl_c	2_P	6	0.84	2.24	-217.42	355.64
fl_c	2_P	7	1.38	2.26	-211.02	365.69
fl_c	2_P	8	0.98	2.52	-221.41	354.98
fl_c	2_P	9	1.05	2.31	-216.20	374.70
fl_c	2_P	10	1.02	2.43	-218.17	372.00
fl_c	2_P	11	0.96	2.43	-218.44	360.51
fl_c	2_P	12	1.40	2.58	-217.66	369.24
fl_c	2_P	13	1.39	2.16	-215.63	376.21
fl_c	2_P	14	1.29	2.19	-213.52	364.80
fl_c	2_P	15	1.20	2.27	-211.11	370.24
fl_c	2_P	16	1.02	2.41	-214.80	365.87
fl_c	2_P	17	1.40	2.58	-213.18	372.94
fl_c	2_P	18	1.27	2.60	-215.00	375.69
fl_c	2_P	19	1.29	2.54	-218.24	369.26
fl_c	3_P	1	1.56	2.77	-220.25	383.43
fl_c	3_P	2	1.82	2.77	-219.20	371.86

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de ymax	x_de ymax
fl_c	3_P	3	1.13	2.31	-214.42	367.39
fl_c	3_P	4	1.29	2.46	-217.70	365.29
fl_c	3_P	5	1.04	2.18	-214.53	367.77
fl_c	3_P	6	1.35	2.26	-218.34	371.73
fl_c	3_P	7	0.93	2.37	-218.62	369.14
fl_c	3_P	8	1.07	2.46	-218.03	370.16
fl_c	3_P	9	1.02	2.36	-218.67	364.81
fl_c	3_P	10	1.12	2.21	-212.98	367.13
fl_c	3_P	11	0.94	2.50	-219.83	365.59
fl_c	3_P	12	1.22	2.65	-215.30	365.78
fl_c	3_P	13	1.20	2.46	-219.96	376.23
fl_c	3_P	14	1.21	2.43	-218.63	369.25
fl_c	3_P	15	1.04	2.44	-214.88	365.33
fl_c	3_P	16	1.25	2.76	-219.46	377.24
fl_c	3_P	17	1.50	2.53	-216.13	374.12
fl_c	3_P	18	1.39	2.37	-217.16	382.46
fl_c	3_P	19	1.26	2.52	-219.80	377.14
fl_c	4_N	1	1.08	2.73	-217.51	380.42
fl_c	4_N	2	1.09	2.72	-225.33	382.49
fl_c	4_N	3	0.76	2.51	-219.67	372.19
fl_c	4_N	4	0.78	2.36	-219.44	374.06
fl_c	4_N	5	1.12	2.90	-224.30	372.30
fl_c	4_N	6	1.31	2.54	-224.24	370.45
fl_c	4_N	7	1.25	2.94	-222.34	376.37
fl_c	4_N	8	1.79	2.71	-219.28	386.24
fl_c	4_N	9	1.00	2.54	-220.49	378.01
fl_c	4_N	10	1.04	2.79	-223.29	365.07
fl_c	4_N	11	1.41	2.65	-223.21	381.17
fl_c	4_N	12	1.48	2.63	-222.31	373.16
fl_c	4_N	13	1.28	2.51	-222.24	368.26
fl_c	4_N	14	1.17	2.68	-220.64	366.77
fl_c	4_N	15	1.03	2.24	-215.27	378.65
fl_c	4_N	16	1.04	2.38	-222.30	376.31
fl_c	4_N	17	1.31	2.59	-218.14	374.79
fl_c	4_N	18	1.49	3.10	-225.63	370.61

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de_ymax	x_de_ymax
fl_c	4_N	19	1.10	2.76	-220.26	372.15
sd_c	1_N	1	0.87	2.21	-195.96	317.45
sd_c	1_N	2	0.98	2.21	-195.59	328.98
sd_c	1_N	3	0.94	2.49	-196.00	321.72
sd_c	1_N	4	1.00	2.25	-193.53	330.23
sd_c	1_N	5	0.81	2.35	-193.73	324.47
sd_c	1_N	6	0.77	2.42	-193.88	320.52
sd_c	1_N	7	1.10	2.33	-193.06	328.57
sd_c	1_N	8	1.09	2.05	-193.06	332.90
sd_c	1_N	9	0.97	2.17	-194.64	329.21
sd_c	1_N	10	1.02	2.17	-194.93	330.72
sd_c	1_N	11	1.00	2.03	-194.20	326.30
sd_c	1_N	12	0.76	1.86	-192.96	320.78
sd_c	1_N	13	0.73	2.26	-193.59	318.35
sd_c	1_N	14	0.75	2.38	-194.88	319.90
sd_c	1_N	15	0.75	2.43	-197.51	321.40
sd_c	1_N	16	0.62	2.70	-196.88	316.90
sd_c	1_N	17	0.64	2.53	-193.97	324.16
sd_c	1_N	18	0.82	2.59	-195.11	325.79
sd_c	1_N	19	0.85	2.42	-194.21	324.78
sd_c	2_P	1	0.66	2.89	-194.89	313.29
sd_c	2_P	2	0.58	3.05	-197.06	309.71
sd_c	2_P	3	0.74	2.50	-196.93	317.36
sd_c	2_P	4	0.63	2.77	-196.36	313.24
sd_c	2_P	5	0.91	2.40	-195.80	313.07
sd_c	2_P	6	0.79	2.76	-196.63	322.69
sd_c	2_P	7	0.76	2.43	-196.51	313.00
sd_c	2_P	8	0.83	2.59	-194.72	310.34
sd_c	2_P	9	0.76	2.63	-197.40	314.56
sd_c	2_P	10	0.68	2.52	-196.14	315.96
sd_c	2_P	11	0.78	2.41	-194.68	318.30
sd_c	2_P	12	0.70	2.99	-196.79	303.51
sd_c	2_P	13	0.80	3.13	-196.31	305.47
sd_c	2_P	14	0.83	3.00	-196.11	312.59
sd_c	2_P	15	0.70	2.96	-197.77	306.13

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de_ymax	x_de_ymax
sd_c	2_P	16	0.66	3.34	-198.03	304.35
sd_c	2_P	17	0.79	3.13	-197.83	303.09
sd_c	2_P	18	0.64	2.92	-195.67	309.02
sd_c	2_P	19	0.78	2.74	-195.60	314.23
sd_c	3_P	1	0.78	2.99	-197.71	309.12
sd_c	3_P	2	0.74	2.71	-197.50	310.69
sd_c	3_P	3	0.92	2.80	-196.66	309.05
sd_c	3_P	4	0.74	2.93	-197.88	305.62
sd_c	3_P	5	0.82	2.82	-195.29	315.57
sd_c	3_P	6	0.74	2.51	-197.60	308.67
sd_c	3_P	7	0.64	3.12	-196.83	303.78
sd_c	3_P	8	0.81	2.90	-195.32	315.11
sd_c	3_P	9	0.76	2.94	-196.43	310.28
sd_c	3_P	10	0.70	2.75	-193.79	314.17
sd_c	3_P	11	0.69	2.72	-195.40	309.03
sd_c	3_P	12	0.66	3.09	-198.51	307.22
sd_c	3_P	13	0.66	3.17	-195.70	309.43
sd_c	3_P	14	0.67	3.08	-194.45	314.40
sd_c	3_P	15	0.83	2.59	-193.90	311.58
sd_c	3_P	16	0.81	3.30	-198.30	301.57
sd_c	3_P	17	0.67	2.80	-197.64	307.18
sd_c	3_P	18	0.82	2.90	-195.62	320.14
sd_c	3_P	19	0.78	3.11	-196.13	310.22
sd_c	4_N	1	0.67	2.51	-196.99	317.98
sd_c	4_N	2	0.77	2.70	-196.05	325.55
sd_c	4_N	3	0.82	2.54	-194.14	322.44
sd_c	4_N	4	0.89	2.46	-195.39	318.22
sd_c	4_N	5	0.77	2.44	-195.78	314.01
sd_c	4_N	6	0.93	2.75	-195.64	315.85
sd_c	4_N	7	1.01	2.66	-193.66	320.76
sd_c	4_N	8	0.79	2.77	-192.66	320.36
sd_c	4_N	9	0.74	2.61	-193.48	319.69
sd_c	4_N	10	0.83	2.95	-192.94	319.48
sd_c	4_N	11	0.82	2.58	-193.83	322.39
sd_c	4_N	12	0.68	2.82	-194.43	319.44

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de_ymax	x_de_ymax
sd_c	4_N	13	0.84	2.51	-194.04	325.77
sd_c	4_N	14	0.99	2.55	-194.55	326.56
sd_c	4_N	15	0.77	2.90	-195.38	317.92
sd_c	4_N	16	0.98	2.35	-194.29	319.96
sd_c	4_N	17	1.11	2.74	-194.80	317.36
sd_c	4_N	18	0.88	2.20	-193.67	324.71
sd_c	4_N	19	0.96	2.50	-193.21	327.44
ac_e	1_N	1	0.97	2.50	-176.67	375.60
ac_e	1_N	2	1.03	2.99	-174.01	375.31
ac_e	1_N	4	0.53	1.76	-167.13	369.58
ac_e	1_N	5	1.26	3.19	-170.86	380.51
ac_e	1_N	6	0.79	2.89	-168.11	369.41
ac_e	1_N	7	0.60	2.51	-175.54	372.72
ac_e	1_N	8	0.64	2.42	-174.46	360.37
ac_e	1_N	9	0.81	2.11	-166.12	381.49
ac_e	1_N	10	0.60	2.42	-175.07	361.52
ac_e	1_N	11	0.64	2.90	-173.53	366.45
ac_e	1_N	12	0.58	2.13	-171.69	360.33
ac_e	1_N	13	0.60	2.29	-173.57	374.58
ac_e	1_N	14	0.59	2.63	-171.96	366.16
ac_e	1_N	15	0.71	2.88	-172.97	368.05
ac_e	1_N	16	0.77	2.50	-176.29	362.20
ac_e	1_N	17	0.66	2.32	-169.51	377.94
ac_e	1_N	18	0.54	2.17	-172.94	359.75
ac_e	1_N	19	0.56	2.52	-171.53	365.51
ac_e	1_N	20	0.92	2.71	-175.20	365.21
ac_e	2_P	1	0.75	2.61	-178.66	358.68
ac_e	2_P	2	0.82	2.90	-175.94	363.16
ac_e	2_P	3	0.63	2.34	-174.43	363.76
ac_e	2_P	4	0.74	2.27	-175.20	356.27
ac_e	2_P	5	0.59	2.32	-176.57	352.68
ac_e	2_P	6	0.66	2.96	-180.55	347.69
ac_e	2_P	7	0.78	2.56	-169.71	362.38
ac_e	2_P	8	0.62	2.60	-175.19	357.01
ac_e	2_P	9	0.74	2.56	-173.10	368.02

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de_ymax	x_de_ymax
ac_e	2_P	10	0.68	2.67	-174.15	363.80
ac_e	2_P	11	0.61	2.53	-180.21	353.26
ac_e	2_P	12	0.58	2.97	-177.07	355.98
ac_e	2_P	13	0.48	2.51	-181.24	351.64
ac_e	2_P	14	0.71	3.19	-179.97	361.95
ac_e	2_P	15	0.54	2.62	-178.80	363.88
ac_e	2_P	16	0.59	2.65	-176.29	358.03
ac_e	2_P	17	0.73	2.53	-176.01	369.01
ac_e	2_P	18	0.78	2.28	-175.12	368.08
ac_e	2_P	19	0.59	2.41	-173.84	362.91
ac_e	3_P	1	0.70	2.34	-170.15	356.14
ac_e	3_P	2	0.53	2.29	-176.99	347.33
ac_e	3_P	3	0.59	2.46	-178.84	346.08
ac_e	3_P	4	0.70	2.83	-178.64	351.90
ac_e	3_P	5	0.65	2.89	-173.52	353.76
ac_e	3_P	6	0.64	2.73	-180.20	360.63
ac_e	3_P	7	0.58	2.61	-177.14	361.31
ac_e	3_P	8	0.65	2.24	-173.61	359.54
ac_e	3_P	9	0.52	2.80	-174.40	362.21
ac_e	3_P	10	0.62	2.44	-174.77	351.64
ac_e	3_P	11	0.92	3.07	-179.33	355.85
ac_e	3_P	12	0.66	2.42	-173.38	355.21
ac_e	3_P	13	0.47	2.29	-179.50	344.06
ac_e	3_P	14	0.56	2.42	-175.76	348.02
ac_e	3_P	15	0.67	2.58	-178.98	361.74
ac_e	3_P	16	0.66	2.97	-177.96	345.43
ac_e	3_P	17	0.69	2.44	-178.95	355.56
ac_e	3_P	18	0.75	2.47	-169.58	354.33
ac_e	3_P	19	0.90	2.31	-174.35	361.86
ac_e	4_N	1	0.63	2.86	-173.80	351.04
ac_e	4_N	2	0.64	2.97	-174.38	357.54
ac_e	4_N	3	0.46	3.23	-178.30	344.56
ac_e	4_N	4	0.68	2.96	-178.92	361.43
ac_e	4_N	5	0.65	3.00	-176.29	355.60
ac_e	4_N	6	0.52	3.05	-171.68	348.81

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de_ymax	x_de_ymax
ac_e	4_N	7	0.52	2.99	-173.41	352.96
ac_e	4_N	8	0.51	2.71	-175.88	349.07
ac_e	4_N	9	0.54	2.86	-175.44	355.92
ac_e	4_N	10	0.62	2.70	-171.56	360.35
ac_e	4_N	11	0.61	2.27	-173.86	354.82
ac_e	4_N	12	0.65	3.02	-171.49	367.88
ac_e	4_N	13	0.46	2.64	-176.00	347.82
ac_e	4_N	14	0.56	3.05	-171.73	362.92
ac_e	4_N	15	0.74	2.49	-173.34	358.66
ac_e	4_N	16	0.66	2.61	-169.61	369.06
ac_e	4_N	17	0.94	2.71	-170.07	356.88
ac_e	4_N	18	0.99	2.70	-173.99	378.12
ac_e	4_N	19	0.56	3.31	-170.05	352.86
bt_e	1_N	1	1.02	1.62	-207.89	357.84
bt_e	1_N	2	0.85	1.74	-210.65	352.73
bt_e	1_N	3	0.91	1.78	-210.65	355.57
bt_e	1_N	4	1.07	1.66	-213.08	357.66
bt_e	1_N	5	0.83	1.85	-221.64	353.73
bt_e	1_N	6	1.13	1.68	-212.72	356.41
bt_e	1_N	7	1.02	1.85	-213.84	361.10
bt_e	1_N	8	0.97	1.77	-215.51	352.76
bt_e	1_N	9	1.03	1.91	-214.13	355.84
bt_e	1_N	10	0.97	1.87	-210.63	354.02
bt_e	1_N	11	1.23	1.81	-213.53	363.58
bt_e	1_N	12	1.08	1.79	-219.33	366.18
bt_e	1_N	13	1.21	1.82	-211.44	361.78
bt_e	1_N	14	1.06	1.92	-210.64	359.94
bt_e	1_N	15	1.11	1.80	-209.33	363.81
bt_e	1_N	16	1.32	1.88	-214.65	358.87
bt_e	1_N	17	0.99	1.95	-215.48	357.38
bt_e	1_N	18	0.99	1.93	-214.72	364.58
bt_e	1_N	19	1.06	1.71	-211.20	358.59
bt_e	2_P	1	1.25	1.83	-212.92	382.03
bt_e	2_P	2	0.94	1.58	-208.55	360.86
bt_e	2_P	3	1.23	1.76	-207.12	358.34

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de_ymax	x_de_ymax
bt_e	2_P	4	0.93	1.95	-216.52	362.80
bt_e	2_P	5	1.13	1.73	-207.02	359.45
bt_e	2_P	6	1.26	1.99	-207.49	360.13
bt_e	2_P	7	1.03	1.87	-211.84	359.67
bt_e	2_P	8	1.07	1.67	-210.99	365.20
bt_e	2_P	9	1.06	1.77	-209.23	356.58
bt_e	2_P	10	1.33	1.96	-209.39	358.21
bt_e	2_P	11	1.02	1.92	-208.39	355.25
bt_e	2_P	12	1.01	1.77	-211.42	362.01
bt_e	2_P	13	1.25	2.30	-205.08	366.70
bt_e	2_P	14	1.30	1.97	-204.46	354.57
bt_e	2_P	15	1.22	2.08	-208.02	350.30
bt_e	2_P	16	1.07	1.91	-205.55	353.89
bt_e	2_P	17	1.26	2.31	-204.11	362.23
bt_e	2_P	18	1.10	2.08	-210.00	353.67
bt_e	2_P	19	1.09	1.97	-206.64	360.82
bt_e	3_P	1	0.83	1.84	-202.83	358.94
bt_e	3_P	2	1.15	2.07	-206.23	356.79
bt_e	3_P	3	0.93	2.18	-207.06	364.55
bt_e	3_P	4	0.69	1.82	-207.06	359.18
bt_e	3_P	5	1.05	1.79	-203.47	357.47
bt_e	3_P	6	1.13	1.85	-202.01	357.28
bt_e	3_P	7	1.13	2.19	-206.71	359.37
bt_e	3_P	8	0.97	2.28	-206.86	356.35
bt_e	3_P	9	0.83	1.88	-204.60	353.10
bt_e	3_P	10	0.91	1.80	-202.98	349.00
bt_e	3_P	11	0.89	1.99	-202.88	357.31
bt_e	3_P	12	0.73	2.25	-203.25	350.13
bt_e	3_P	13	0.87	2.27	-201.16	355.14
bt_e	3_P	14	0.71	1.97	-201.85	352.43
bt_e	3_P	15	0.91	2.40	-202.18	355.74
bt_e	3_P	16	1.08	2.16	-209.41	369.99
bt_e	3_P	17	0.98	2.12	-200.22	353.83
bt_e	3_P	18	0.94	2.13	-200.49	356.40
bt_e	3_P	19	0.95	2.12	-204.59	357.43

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de_ymax	x_de_ymax
bt_e	4_N	1	0.88	1.95	-205.93	365.11
bt_e	4_N	2	1.08	1.88	-204.56	359.62
bt_e	4_N	3	0.99	1.90	-204.51	363.60
bt_e	4_N	4	0.88	1.65	-206.44	359.53
bt_e	4_N	5	1.42	1.95	-212.29	359.62
bt_e	4_N	6	1.67	2.14	-211.49	362.80
bt_e	4_N	7	1.11	1.95	-204.82	361.57
bt_e	4_N	8	1.07	2.00	-206.23	356.50
bt_e	4_N	9	1.23	1.73	-202.79	358.84
bt_e	4_N	10	1.39	2.03	-210.34	363.08
bt_e	4_N	11	0.84	1.99	-206.89	348.72
bt_e	4_N	12	0.75	2.31	-207.02	357.76
bt_e	4_N	13	0.96	2.43	-209.07	361.40
bt_e	4_N	14	0.87	1.95	-201.45	353.91
bt_e	4_N	15	0.92	1.89	-200.86	353.22
bt_e	4_N	16	1.43	2.13	-208.53	365.45
bt_e	4_N	17	0.96	2.12	-206.74	358.33
bt_e	4_N	18	0.87	2.15	-210.54	355.34
bt_e	4_N	19	0.92	1.87	-212.87	357.45
dm_e	1_N	1	0.78	1.96	-188.05	349.78
dm_e	1_N	2	0.95	2.38	-188.50	341.57
dm_e	1_N	3	1.02	1.84	-175.52	338.71
dm_e	1_N	4	1.01	2.07	-185.47	331.61
dm_e	1_N	5	1.00	2.04	-184.51	342.67
dm_e	1_N	6	1.15	2.14	-181.53	347.01
dm_e	1_N	7	0.91	1.82	-181.92	332.66
dm_e	1_N	8	0.85	2.06	-182.89	342.73
dm_e	1_N	9	0.92	1.94	-181.69	345.14
dm_e	1_N	10	0.91	2.04	-180.82	337.89
dm_e	1_N	11	1.21	1.96	-183.63	347.67
dm_e	1_N	12	1.12	2.33	-183.99	339.39
dm_e	1_N	13	1.01	2.38	-185.78	357.99
dm_e	1_N	14	1.01	1.91	-182.29	355.62
dm_e	1_N	15	0.97	2.01	-178.73	331.81
dm_e	1_N	16	0.93	1.78	-179.77	334.38

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y de ymax	x de ymax
dm_e	1_N	17	0.85	1.80	-182.63	332.95
dm_e	1_N	18	0.81	2.24	-183.71	363.22
dm_e	1_N	19	1.17	1.83	-180.20	341.32
dm_e	1_N	1	0.78	1.96	-188.05	349.78
dm_e	1_N	2	0.95	2.38	-188.50	341.57
dm_e	1_N	3	1.02	1.84	-175.52	338.71
dm_e	1_N	4	1.01	2.07	-185.47	331.61
dm_e	1_N	5	1.00	2.04	-184.51	342.67
dm_e	1_N	6	1.15	2.14	-181.53	347.01
dm_e	1_N	7	0.91	1.82	-181.92	332.66
dm_e	1_N	8	0.85	2.06	-182.89	342.73
dm_e	1_N	9	0.92	1.94	-181.69	345.14
dm_e	1_N	10	0.91	2.04	-180.82	337.89
dm_e	1_N	11	1.21	1.96	-183.63	347.67
dm_e	1_N	12	1.12	2.33	-183.99	339.39
dm_e	1_N	13	1.01	2.38	-185.78	357.99
dm_e	1_N	14	1.01	1.91	-182.29	355.62
dm_e	1_N	15	0.97	2.01	-178.73	331.81
dm_e	1_N	16	0.93	1.78	-179.77	334.38
dm_e	1_N	17	0.85	1.80	-182.63	332.95
dm_e	1_N	18	0.81	2.24	-183.71	363.22
dm_e	1_N	19	1.17	1.83	-180.20	341.32
dm_e	2_P	1	1.25	2.39	-175.97	348.21
dm_e	2_P	2	0.94	2.44	-179.64	357.69
dm_e	2_P	3	0.83	2.95	-178.83	371.10
dm_e	2_P	4	1.06	2.26	-176.11	341.32
dm_e	2_P	5	1.21	2.26	-174.27	348.36
dm_e	2_P	6	0.74	2.25	-176.15	345.76
dm_e	2_P	7	1.28	2.25	-175.98	341.09
dm_e	2_P	8	1.18	2.34	-173.59	339.74
dm_e	2_P	9	1.18	2.20	-176.22	340.07
dm_e	2_P	10	1.01	2.25	-175.14	343.56
dm_e	2_P	11	0.97	2.43	-178.99	347.43
dm_e	2_P	12	1.20	2.13	-174.49	333.59
dm_e	2_P	13	0.98	2.19	-173.36	340.61

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de_ymax	x_de_ymax
dm_e	2_P	14	1.39	2.00	-178.34	341.91
dm_e	2_P	15	0.98	2.30	-176.02	345.28
dm_e	2_P	16	1.25	2.15	-171.08	351.55
dm_e	2_P	17	1.08	2.18	-178.50	346.46
dm_e	2_P	18	1.23	2.58	-181.50	358.45
dm_e	2_P	19	0.97	1.99	-178.82	335.99
dm_e	2_P	1	1.25	2.39	-175.97	348.21
dm_e	2_P	2	0.94	2.44	-179.64	357.69
dm_e	2_P	3	0.83	2.95	-178.83	371.10
dm_e	2_P	4	1.06	2.26	-176.11	341.32
dm_e	2_P	5	1.21	2.26	-174.27	348.36
dm_e	2_P	6	0.74	2.25	-176.15	345.76
dm_e	2_P	7	1.28	2.25	-175.98	341.09
dm_e	2_P	8	1.18	2.34	-173.59	339.74
dm_e	2_P	9	1.18	2.20	-176.22	340.07
dm_e	2_P	10	1.01	2.25	-175.14	343.56
dm_e	2_P	11	0.97	2.43	-178.99	347.43
dm_e	2_P	12	1.20	2.13	-174.49	333.59
dm_e	2_P	13	0.98	2.19	-173.36	340.61
dm_e	2_P	14	1.39	2.00	-178.34	341.91
dm_e	2_P	15	0.98	2.30	-176.02	345.28
dm_e	2_P	16	1.25	2.15	-171.08	351.55
dm_e	2_P	17	1.08	2.18	-178.50	346.46
dm_e	2_P	18	1.23	2.58	-181.50	358.45
dm_e	2_P	19	0.97	1.99	-178.82	335.99
dm_e	3_P	1	1.66	1.74	-174.20	340.10
dm_e	3_P	2	0.97	1.84	-179.49	330.70
dm_e	3_P	3	0.88	2.14	-183.71	340.44
dm_e	3_P	4	0.56	2.44	-182.14	347.80
dm_e	3_P	5	1.15	1.97	-178.74	341.74
dm_e	3_P	6	0.92	2.31	-181.69	340.06
dm_e	3_P	7	0.81	1.92	-181.46	348.62
dm_e	3_P	8	1.24	1.89	-178.83	337.76
dm_e	3_P	9	0.94	2.14	-179.11	340.52
dm_e	3_P	10	0.63	1.84	-184.33	343.88

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de ymax	x_de ymax
dm_e	3_P	11	0.78	1.96	-183.11	355.10
dm_e	3_P	12	0.87	2.07	-188.45	342.38
dm_e	3_P	13	1.00	2.10	-183.65	343.06
dm_e	3_P	14	0.65	2.15	-183.66	353.09
dm_e	3_P	15	0.74	2.77	-186.58	362.13
dm_e	3_P	16	0.95	1.94	-181.46	348.39
dm_e	3_P	17	0.65	1.90	-184.28	345.46
dm_e	3_P	18	1.05	2.34	-183.26	355.39
dm_e	3_P	19	0.59	2.16	-183.35	348.80
dm_e	3_P	1	1.66	1.74	-174.20	340.10
dm_e	3_P	2	0.97	1.84	-179.49	330.70
dm_e	3_P	3	0.88	2.14	-183.71	340.44
dm_e	3_P	4	0.56	2.44	-182.14	347.80
dm_e	3_P	5	1.15	1.97	-178.74	341.74
dm_e	3_P	6	0.92	2.31	-181.69	340.06
dm_e	3_P	7	0.81	1.92	-181.46	348.62
dm_e	3_P	8	1.24	1.89	-178.83	337.76
dm_e	3_P	9	0.94	2.14	-179.11	340.52
dm_e	3_P	10	0.63	1.84	-184.33	343.88
dm_e	3_P	11	0.78	1.96	-183.11	355.10
dm_e	3_P	12	0.87	2.07	-188.45	342.38
dm_e	3_P	13	1.00	2.10	-183.65	343.06
dm_e	3_P	14	0.65	2.15	-183.66	353.09
dm_e	3_P	15	0.74	2.77	-186.58	362.13
dm_e	3_P	16	0.95	1.94	-181.46	348.39
dm_e	3_P	17	0.65	1.90	-184.28	345.46
dm_e	3_P	18	1.05	2.34	-183.26	355.39
dm_e	3_P	19	0.59	2.16	-183.35	348.80
dm_e	4_N	1	0.79	1.75	-177.10	336.81
dm_e	4_N	2	0.89	2.02	-182.43	336.00
dm_e	4_N	3	1.10	1.78	-177.47	342.50
dm_e	4_N	4	0.94	1.83	-182.85	346.96
dm_e	4_N	5	0.92	1.78	-181.40	340.26
dm_e	4_N	6	1.04	1.73	-177.30	338.68
dm_e	4_N	7	1.00	1.93	-181.26	357.79

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de_ymax	x_de_ymax
dm_e	4_N	8	1.02	1.86	-178.92	355.48
dm_e	4_N	9	0.79	1.90	-174.69	336.80
dm_e	4_N	10	1.29	1.80	-179.95	335.70
dm_e	4_N	11	0.89	1.82	-175.30	332.69
dm_e	4_N	12	0.79	1.74	-175.57	331.41
dm_e	4_N	13	0.95	1.85	-177.12	332.93
dm_e	4_N	14	0.86	2.14	-182.57	330.93
dm_e	4_N	15	1.08	1.89	-168.34	328.21
dm_e	4_N	16	0.78	2.17	-183.77	344.20
dm_e	4_N	17	1.14	2.16	-178.64	343.94
dm_e	4_N	18	0.87	2.20	-177.63	346.18
dm_e	4_N	19	1.01	2.16	-175.00	339.07
dm_e	4_N	1	0.79	1.75	-177.10	336.81
dm_e	4_N	2	0.89	2.02	-182.43	336.00
dm_e	4_N	3	1.10	1.78	-177.47	342.50
dm_e	4_N	4	0.94	1.83	-182.85	346.96
dm_e	4_N	5	0.92	1.78	-181.40	340.26
dm_e	4_N	6	1.04	1.73	-177.30	338.68
dm_e	4_N	7	1.00	1.93	-181.26	357.79
dm_e	4_N	8	1.02	1.86	-178.92	355.48
dm_e	4_N	9	0.79	1.90	-174.69	336.80
dm_e	4_N	10	1.29	1.80	-179.95	335.70
dm_e	4_N	11	0.89	1.82	-175.30	332.69
dm_e	4_N	12	0.79	1.74	-175.57	331.41
dm_e	4_N	13	0.95	1.85	-177.12	332.93
dm_e	4_N	14	0.86	2.14	-182.57	330.93
dm_e	4_N	15	1.08	1.89	-168.34	328.21
dm_e	4_N	16	0.78	2.17	-183.77	344.20
dm_e	4_N	17	1.14	2.16	-178.64	343.94
dm_e	4_N	18	0.87	2.20	-177.63	346.18
dm_e	4_N	19	1.01	2.16	-175.00	339.07
fg_e	1_N	1	0,89	2,02	-236,75	305,4
fg_e	1_N	2	0,85	2,02	-237,12	305,17
fg_e	1_N	3	0,91	1,85	-234,29	302
fg_e	1_N	4	1,13	1,82	-232,32	307,76

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de_ymax	x_de_ymax
fg_e	1_N	5	0,69	1,97	-224,87	299,54
fg_e	1_N	6	0,67	2,45	-234,21	303,86
fg_e	1_N	7	0,83	1,8	-219,08	300,98
fg_e	1_N	8	0,75	1,81	-222,01	303,49
fg_e	1_N	9	0,76	1,99	-221,41	298,57
fg_e	1_N	10	1,01	1,8	-223,63	295,76
fg_e	1_N	11	0,89	1,7	-215,11	309,47
fg_e	1_N	12	1,02	1,77	-220,44	302,58
fg_e	1_N	13	0,74	1,75	-223,97	301,76
fg_e	1_N	14	1,01	1,78	-219,78	300,73
fg_e	1_N	15	0,8	1,64	-217,82	291,94
fg_e	1_N	16	0,85	1,66	-220,25	301,78
fg_e	1_N	17	0,93	1,74	-218,26	299,79
fg_e	1_N	18	0,87	1,83	-227,32	307,3
fg_e	1_N	19	0,94	1,63	-216,92	300,48
fg_e	2_P	1	0,85	1,74	-218,86	306,26
fg_e	2_P	2	0,75	2,25	-221,96	299,33
fg_e	2_P	3	0,91	2,49	-217,28	295,44
fg_e	2_P	4	0,99	2,58	-227,99	310,87
fg_e	2_P	5	0,81	2,1	-225,62	284,89
fg_e	2_P	6	0,89	1,96	-225,13	292,72
fg_e	2_P	7	1,21	2,32	-220,87	305,75
fg_e	2_P	8	0,79	1,93	-223,49	291,42
fg_e	2_P	9	0,99	2,2	-218,52	297,68
fg_e	2_P	10	0,78	2,1	-219,68	296,79
fg_e	2_P	11	1,03	1,96	-220,16	298,79
fg_e	2_P	12	0,74	2,33	-223,6	297,76
fg_e	2_P	13	1,03	2,53	-220,97	285,71
fg_e	2_P	14	0,93	2,15	-225,35	290,77
fg_e	2_P	15	0,99	2,29	-222,36	294,02
fg_e	2_P	16	0,78	2,24	-221,68	293,27
fg_e	2_P	17	0,84	2,51	-218,91	296,86
fg_e	2_P	18	0,99	2,29	-223,14	301,85
fg_e	2_P	19	0,93	2,37	-222,56	287,26
fg_e	3_P	1	0,79	2,37	-221,73	289,5

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de_ymax	x_de_ymax
fg_e	3_P	2	1,03	2,23	-218,73	297,22
fg_e	3_P	3	0,71	2,06	-217,79	304,96
fg_e	3_P	4	0,93	2,15	-220,98	304,54
fg_e	3_P	5	0,96	2,12	-214,3	298,97
fg_e	3_P	6	1,04	2,11	-220,27	312,82
fg_e	3_P	7	0,85	1,98	-221,29	306,74
fg_e	3_P	8	0,99	2,14	-228,72	311,01
fg_e	3_P	9	0,71	2,05	-229,08	313,59
fg_e	3_P	10	0,94	1,88	-219,74	301,05
fg_e	3_P	11	0,83	2,07	-222,2	311,68
fg_e	3_P	12	0,79	1,77	-222,03	302,84
fg_e	3_P	13	1,05	2	-226,8	317,24
fg_e	3_P	14	0,87	1,9	-222,64	299,37
fg_e	3_P	15	0,93	1,74	-218,4	302,7
fg_e	3_P	16	0,73	2	-225,68	308,81
fg_e	3_P	17	0,81	1,76	-221,87	308,67
fg_e	3_P	18	0,93	1,83	-221,81	303,67
fg_e	3_P	19	0,97	1,8	-219,62	304,68
fg_e	4_N	1	0,93	1,9	-227,29	309,82
fg_e	4_N	2	0,83	1,73	-219,89	296,68
fg_e	4_N	3	1,07	1,9	-226,94	315,52
fg_e	4_N	4	0,71	2,64	-226,37	292,69
fg_e	4_N	5	0,75	2,48	-225,29	297,53
fg_e	4_N	6	0,7	2,25	-224,44	295,74
fg_e	4_N	7	0,86	2,38	-219,99	311,22
fg_e	4_N	8	1,11	2,19	-226,24	316,06
fg_e	4_N	9	0,76	2,34	-227,25	312,89
fg_e	4_N	10	0,78	1,92	-223,45	306,58
fg_e	4_N	11	0,84	2,33	-218,32	305,19
fg_e	4_N	12	0,95	2,06	-221,26	315,86
fg_e	4_N	13	0,92	1,87	-222,85	307,12
fg_e	4_N	14	0,92	2,09	-225,88	310,89
fg_e	4_N	15	0,66	1,98	-219,64	302,27
fg_e	4_N	16	0,57	2,01	-217,83	298,28
fg_e	4_N	17	0,64	1,93	-216,89	304,86

Locuteur	Cond.	Occ.	Asym.	Courb.	y_de_ymax	x_de_ymax
fg_e	4 N	18	0,82	1,96	-221,19	311,74
fg_e	4 N	19	0,91	2,32	-223,49	302,35

Les trois tableaux suivants contiennent les résultats des ANOVA à mesures répétées effectuées sur les données articulatoires de l'*asymétrie*, de la *courbure* et du *y_de_ymax* ayant comme facteur le *groupe* et comme variables indépendantes *conditions* et *occurrences*.

Tableau C2
ANOVA sur le pourcentage de changement de l'asymétrie lors des conditions P1-P2 (perturbées) et N2 (postperturbation) par rapport à la condition N1 (préperturbation) au cours des 19 répétitions pour les deux groupes de sujets (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$)

	Degrés de liberté	F	P
Groupe	1,6	2.455	0.168
Conditions	3,18	2.303	0.112
Conditions*Groupe	3,18	2.678	0.078
Occurrences	18,108	0.694	0.811
Occurrences*Groupe	18,108	0.611	0.885
Conditions*Occurrences	54,324	1.083	0.331
Condition*Occurrences*Groupe	54,324	0.890	0.691

Tableau C3
ANOVA sur le pourcentage de changement de la courbure lors des conditions P1-P2 (perturbées) et N2 (postperturbation) par rapport à la condition N1 (préperturbation) au cours des 19 répétitions pour les deux groupes de sujets (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$)

	Degrés de liberté	F	P
Groupe	1,6	0.296	0.606
Conditions	3,18	3.007	0.057
Conditions*Groupe	3,18	0.422	0.739
Occurrences	18,108	1.443	0.127
Occurrences*Groupe	18,108	0.594	0.897
Conditions*Occurrences	54,324	1.200	0.173
Condition*Occurrences*Groupe	54,324	1.161	0.218

Tableau C4

ANOVA sur le pourcentage de changement de y_de_ymax lors des conditions P1-P2 (perturbées) et N2 (postperturbation) par rapport à la condition N1 (préperturbation) au cours des 19 répétitions pour les deux groupes de sujets (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$)

	Degrés de liberté	F	P
Groupe	1,6	0.607	0.465
Conditions	3,18	1.553	0.235
Conditions*Groupe	3,18	0.705	0.561
Occurrences	18,108	0.823	0.670
Occurrences*Groupe	18,108	0.729	0.775
Conditions*Occurrences	54,324	0.907	0.661
Condition*Occurrences*Groupe	54,324	1.072	0.343

Les deux tableaux suivants contiennent les résultats des analyses discriminantes par sujet. Ces données permettent d'avoir un regard éclairé sur les résultats par sujets puisqu'elles permettent de valider les différences observées. Par exemple, si on observe pour un locuteur une différence importante sur le plan x/y de $ymax$ et sur le plan *asymétrie/courbure*, mais que les pourcentages d'identification correcte sont supérieurs pour les variables x_de_ymax et y_de_ymax , il faudra davantage considérer les résultats de ces variables pour ce locuteur.

Tableau C5

Résultats par sujet de l'analyse discriminante pour les variables *asymétrie* et *courbure*

Sujets	% identification correcte		
	toutes les conditions (N1-N2-P1-P2)	N1-N2 vs. P1-P2 (perturbé vs. non perturbé)	N1-P1 vs. P2-N2 (implant off vs implant on)
ac_e	43	63	60
bt_e	43	62	72
dm_e	51	70	66
fg_e	48	53	75
al_c	46	73	71
fb_c	34	54	53
fl_c	45	69	61
sd_c	58	80	61

Tableau C6
 Résultats par sujet de l'analyse discriminante pour les variables x_de_ymax et y_de_ymax .

Sujets	% identification correcte		
	toutes les conditions (N1-N2-P1-P2)	N1-N2 vs. P1-P2 (perturbé vs. non perturbé)	N1-P1 vs. P2-N2 (implant off vs implant on)
ac_e	45	66	74
bt_e	40	62	70
dm_e	54	66	56
fg_e	48	75	61
al_c	56	78	64
fb_c	53	81	59
fl_c	58	65	76
sd_c	60	91	60

APPENDICE D

RÉSULTATS DU TEST DE PERCEPTION

Tableau D1
Moyenne des résultats individuels au test de
perception. [u]=100 et [o]=0

Sujet	Stimuli	Test	Réponse	Test	Réponse
al_c	1	pre	100	post	100
al_c	2	pre	100	post	100
al_c	3	pre	100	post	100
al_c	4	pre	100	post	100
al_c	5	pre	100	post	100
al_c	6	pre	40	post	100
al_c	7	pre	40	post	100
al_c	8	pre	0	post	40
al_c	9	pre	0	post	20
al_c	10	pre	0	post	20
al_c	11	pre	0	post	0
fb_c	1	pre	100	post	100
fb_c	2	pre	100	post	100
fb_c	3	pre	100	post	100
fb_c	4	pre	100	post	100
fb_c	5	pre	100	post	100
fb_c	6	pre	100	post	60
fb_c	7	pre	100	post	80

Sujet	Stimuli	Test	Réponse	Test	Réponse
fb_c	8	pre	100	post	20
fb_c	9	pre	0	post	0
fb_c	10	pre	0	post	0
fb_c	11	pre	0	post	0
fl_c	1	pre	100	post	100
fl_c	2	pre	100	post	100
fl_c	3	pre	100	post	100
fl_c	4	pre	100	post	100
fl_c	5	pre	100	post	100
fl_c	6	pre	100	post	100
fl_c	7	pre	100	post	80
fl_c	8	pre	60	post	20
fl_c	9	pre	0	post	20
fl_c	10	pre	0	post	0
fl_c	11	pre	0	post	0
sd_c	1	pre	100	post	100
sd_c	2	pre	100	post	100
sd_c	3	pre	100	post	100
sd_c	4	pre	100	post	100
sd_c	5	pre	100	post	100
sd_c	6	pre	100	post	100
sd_c	7	pre	100	post	100
sd_c	8	pre	40	post	20
sd_c	9	pre	20	post	20
sd_c	10	pre	20	post	0
sd_c	11	pre	0	post	0
ac_e	1	pre	60	post	40
ac_e	2	pre	60	post	60
ac_e	3	pre	0	post	20
ac_e	4	pre	20	post	60
ac_e	5	pre	100	post	100
ac_e	6	pre	100	post	60
ac_e	7	pre	60	post	0
ac_e	8	pre	0	post	60
ac_e	9	pre	20	post	0

Sujet	Stimuli	Test	Réponse	Test	Réponse
ac_e	10	pre	0	post	60
ac_e	11	pre	0	post	20
bt_e	1	pre	100	post	100
bt_e	2	pre	100	post	100
bt_e	3	pre	100	post	100
bt_e	4	pre	100	post	100
bt_e	5	pre	40	post	60
bt_e	6	pre	0	post	0
bt_e	7	pre	0	post	0
bt_e	8	pre	0	post	0
bt_e	9	pre	0	post	0
bt_e	10	pre	20	post	0
bt_e	11	pre	20	post	0
dm_e	1	pre	0	post	60
dm_e	2	pre	40	post	40
dm_e	3	pre	20	post	20
dm_e	4	pre	40	post	80
dm_e	5	pre	80	post	60
dm_e	6	pre	80	post	40
dm_e	7	pre	100	post	100
dm_e	8	pre	100	post	40
dm_e	9	pre	80	post	60
dm_e	10	pre	80	post	0
dm_e	11	pre	40	post	20
sb_e	1	pre	40	post	80
sb_e	2	pre	80	post	80
sb_e	3	pre	60	post	100
sb_e	4	pre	100	post	80
sb_e	5	pre	20	post	0
sb_e	6	pre	20	post	0
sb_e	7	pre	20	post	0
sb_e	8	pre	20	post	20
sb_e	9	pre	40	post	60
sb_e	10	pre	60	post	40
sb_e	11	pre	60	post	40

RÉFÉRENCES

- Aasland, W. A., S. R. Baum et D. H. McFarland. 2006. «Electropalatographic, acoustic, and perceptual data on adaptation to a palatal perturbation». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 119, no 4, p. 2372-2381.
- Aboitiz, F., et R. Garcia. 1997. «The evolutionary origin of the language areas in the human brain: A neuroanatomical perspective». *Brain Research Reviews*. vol. 25, no 3, p. 381-396.
- Aboitiz, F., R. R. Garcia, C. Bosman et E. Brunetti. 2006. «Cortical memory mechanisms and language origins». *Brain and Language*. vol. 98, no 1, p. 40-56.
- Arbib, M. A. 2005. «From monkey-like action recognition to human language: An evolutionary framework for neurolinguistics». *Behavioral and Brain Sciences*. vol. 28, no 2, p. 105-167.
- Aubin, J. 2006. «Effets acoustiques et articulatoires de perturbations labiales sur la parole des enfants et des adultes». Montréal, Département de linguistique et de didactique des langues, Université du Québec à Montréal, 216 p.
- Baddeley, A. 2003. «Working memory and language: An overview». *Journal of Communication Disorders*. vol. 36, no 3, p. 189-208.
- Baum, S. R., et D. H. McFarland. 2000. «Individual Differences in Speech Adaptation to an Artificial Palate». *Journal of the Acoustical Society of America*, no 6, p. 3572-3575.
- Baum, S. R., D. H. McFarland et M. Diab. 1996. «Compensation to articulatory perturbation : Perceptual data». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 99, no 6, p. 3791-3794.

- Bear, M. F., B. W. Connors et M. A. Paradiso. 2007. *Neurosciences: À la découverte du cerveau*. Paris: Éditions Pradel.
- Blumstein, S. E. 1986. «On acoustic invariance in speech». In *Invariance and variability in speech processes*, J. S. & Klatt Perkell, D. H., p. 178-201. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.
- Blumstein, S. E., et K. N. Stevens. 1980. «Perceptual invariance and onset spectra for stop consonants in different vowel environments». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 67, no 2, p. 648-662.
- Boë, L.-J., P. Perrier et G. Bailly. 1992. «The geometric vocal tract variables controlled for vowel production: proposals for constraining acoustic-to-articulatory inversion». *Journal of Phonetics*. vol. 20, p. 27-38.
- Boë, L.-J., P. Perrier et A. Morris. 1992. «Une prédiction de L'«audibilité» des gestes de la parole à partir d'une modélisation articulatoire». *19e journées d'étude sur la parole, S.F.A., G.C.P.*, p. 151-157.
- Bohland, J. W., et F. H. Guenther. 2006. «An fMRI investigation of syllable sequence production». *NeuroImage*. vol. 32, p. 821-841.
- Calvert, G.A., et R. Campbell. 2003. «Reading speech from still and moving faces: The neural substrates of visible speech». *Journal of Cognitive Neuroscience*. vol. 15, no 1, p. 57-70.
- Christoffels, I. K., E. Formisano et N. O. Schiller. 2007. «Neural correlates of verbal feedback processing: An fMRI study employing overt speech». *Human Brain Mapping*. vol. 28, no 9, p. 868-879.
- Cocusse, M. 1996. «Stratégies de production et de compensation pour un robot parlant: Le cas du [u] avec "lip-tube"». Grenoble, Institut de la Communication Parlée, Institut National Polytechnique et Université Stendhal, 61 p.
- Diehl, R. L. 2000. «Searching for an auditory description of vowel categories». *Phonetica*. vol. 57, p. 267-274.
- Fadiga, L., L. Craighero, G. Buccino et G. Rizzolatti. 2002. «Speech listening specifically modulates the excitability of tongue muscles: A TMS study». *European Journal of Neuroscience*. vol. 15, no 2, p. 399-402.

- Fant, G. 1960. *The acoustic theory of speech production*. The Hague: Mouton.
- Flege, J. E., S. G. Fletcher et A. Homiedan. 1988. «Compensating for a bite block in /s/ and /t/ production: Palatographic, acoustic, and perceptual data». *Journal of Acoustical Society of America*. vol. 83, no 1, p. 212-228.
- Fowler, C. A. 1986. «An event approach to the study of speech perception from a direct-realist perspective». *Journal of Phonetics*. vol. 14, p. 3-28.
- , 1996. «Listeners do hear sounds, not tonguesa),b)». *Journal Acoustical Society of America*. vol. 99, no 3, p. 1730-1741.
- Gracco, V.L., D. Ross, J. Kalinowski et A. Stuart. 1995. «Articulatory changes following spectral and temporal modifications in auditory feedback.». *Journal Acoustical Society of America*. vol. 95, p. 2821.
- Guenther, F. H. 2001. «Neural modeling of speech production». *Proceeding of the 4th International Nijmegen Speech Motor Conference*.
- Guenther, F. H., S.S. Ghosh et J.A. Tourville. 2006. «Neural modeling and imaging of the cortical interactions underlying syllable production». *Brain and Language*. vol. 96, p. 280-301.
- Guenther, F. H., et J. S. Perkell. 2004. «A neural model of speech production and its application to studies of the role of auditory feedback in speech». In *Speech Motor control in normal and disordered speech*, B. Maassen, R. D. Kent, P. Peters, P Van Lieshout et W. Hulstijn, p. 29-49. Oxford: Oxford University Press.
- Guenther, F.H. 2002. «Neural control of speech movements». In *Phonetics and phonology in language comprehension and production*, A. Meyer et N. Schiller. Berlin: Mouton de Gruyter.
- , 2006. «Cortical interactions underlying the production of speech sounds». *Journal of Communication Disorders*. vol. 39, no 5, p. 350-365.
- Harnsberger, J.A., M.A. Svirsky, A.R. Kaiser, D.B. Pisoni, R. Wright et T.A. Meyera. 2001. «Perceptual “vowel spaces” of cochlear implant users: Implications for the study of auditory adaptation to spectral shift». *Journal Acoustical Society of America*. vol. 109, no 5.

- Hickok, G., et D. Poeppel. 2004. «Dorsal and ventral streams: A framework for understanding aspects of the functional anatomy of language». *Cognition. Special Issue: Towards a New Functions Anatomy of Language*. vol. 92, no 1-2, p. 67-99.
- , 2007. «The cortical organization of speech processing». *Nature Reviews Neuroscience*. vol. 8, no 5, p. 393-402.
- Honda, K. 1996. «Organization of tongue articulation for vowels». *Journal of Phonetics*. vol. 24, p. 39-52.
- Hoole, P. 1987. «Bite-block speech in the absence of oral sensibility». Proceedings of the 11th International Congress Phonetic Sciences, Tallinn (Estonie), 16-19 p.
- Houde, J. F., et M. I. Jordan. 1998. «Sensorimotor adaptation in speech production». *Science*. vol. 279, no 5354, p. 1213-1216.
- , 2002. «Sensorimotor adaptation of speech I: Compensation and Adaptation». *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. vol. 45, p. 295-310.
- Iverson, P., C. A. Smith et B. G. Evans. 2006. «Vowel Recognition via Cochlear Implants and Noise Vocoders: Effects of Formant Movement and Duration». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 120, no 6, p. 3998-4006.
- Jakobson, R., G. Fant et M. Halle. 1967. *Preliminaries to speech analysis the distinctive features and their correlates*. Cambridge, Mass. : MIT Press. 64 p.
- Jones, J. A., et K. G. Munhall. 2003. «Learning to produce speech with an altered vocal tract : The role of auditory feedback». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 113, no 1, p. 532-543.
- Kelso, J.A.S., et B. Tuller. 1983. «'Compensatory articulation' under conditions of reduced afferent information : A dynamic formulation». *Journal of Speech and Hearing Research*. vol. 26, p. 217-224.
- Kent, R. D. 1997. *The speech sciences*. San Diego/London: Singular Publishing Group.
- Lane, H., M. Denny, F. H. Guenther, M. Matthies, L. Ménard, J. S. Perkell, E. Stockmann, M. Tiede, J. Vick et M. Zandipour. 2005. «Effects of bite blocks and hearing status on vowel production». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 118, no 3, p. 1-11.

- Lane, H., et B. Tranel. 1971. «The Lombard sign and the role of hearing in speech». *J. Speech Hear. Res.* vol. 14, p. 677-709.
- Lane, H., et J. W. Webster. 1991. «Speech deterioration in postlingually deafened adults». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 89, no 2, p. 859-866.
- Lane, H., J. Wozniak, M. Matthies, M. Svirsky et J. S. Perkell. 1995. «Phonemic Resetting versus Postural Adjustments in the Speech of Cochlear Implant Users: An Exploration of Voice-Onset Time». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 98, no 6, p. 3096-3106.
- Leclerc, A. 2007. «Le rôle de la vision dans la parole: une étude articulatoire et acoustique des voyelles orales du français québécois produites par les locuteurs voyants et aveugles». Montréal, Département de linguistique et de didactique des langues, Université du Québec à Montréal, 284 p.
- Lee, B. S. 1950. «Some Effects of Side-Tone Delay». *Journal Acoustical Society of America*. vol. 22, no 5, p. 639-640.
- Li, M. , C. Kambhamettu et M. Stone. 2005. «Automatic contour tracking in ultrasound images». *Clinical Linguistics and Phonetics*. vol. 19, no 6-7, p. 545-554.
- Liberman, A. M., et I. G. Mattingly. 1985. «The motor theory of speech perception revised». *Cognition*. vol. 21, p. 1-36.
- Lieberman, A. M., et I. G. Mattingly. 1985. «The motor theory of speech perception revised». *Cognition*. vol. 21, p. 1-36.
- Lindblom, B. 1987. «Adaptative variability and absolute constancy in speech signal :Two themes in the quest for phonetic invariance». Proceedings of the 11th International Congress of Phonetic Sciences, Talinn (Estonie), p.9-18 p.
- (1990). On the notion of «possible speech sound». Stockholm, Institute of linguistics, university of Stockholm: 41-63 p
- Lindblom, B. E. F., et J. E. F. Sundberg. 1971. «Acoustical consequences of lip, tongue, jaw, and larynx movement». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 50, no 4, p. 1166-1179.

- Lindblom, B., et J. Lubker. 1979. «Formant frequencies of some fixed-mandible vowels and a model of speech motor programming by predictive simulation». *Journal of Phonetic*. vol. 7, p. 147-161.
- Lombard, E. 1911. «Le signe de l'élévation de la voix». In *Annales maladies oreille nez larynx pharynx*. 37, p. 101-119.
- Maeda, S. 1979. «An Articulatory Model of the Tongue Based on a Statistical analysis». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 65, no 22.
- Marieb, E. N. 2005. *Anatomie et physiologie humaines*. St-Laurent (Québec): Édition du Renouveau pédagogique.
- McFarland, D. H., et S. R. Baum. 1995. «Incomplete compensation to articulatory perturbation». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 97, no 3, p. 1865-1873.
- Meister, I. G., W. M. Stephen, C. Deblieck, A. D. Wu et M. Iacoboni. 2007. «The Essential Role of Premotor Cortex in Speech Perception». *Current Biology*. vol. 17, p. 1692-1696.
- Ménard, L. 2002. «Production et perception des voyelles au cours de la croissance du conduit vocal : variabilité, invariance et normalisation». Grenoble, Institut de la communication parlée.
- Ménard, L., P. Perrier, C. Savariaux, J. Aubin et M. Thibeault. 2008. «Compensation strategies for a lip-tube perturbation of French [u] : an acoustic and perceptual study of 4-year-old children». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 124, p. 1192-1206.
- Millar, W. J. 2005. «Problèmes d'audition chez les personnes âgées ». *Rapports sur la santé: Statistique Canada*. vol. 16, no 4.
- Nasir, S. M., et D. J. Ostry. 2008. «Speech motor learning in profoundly deaf adults». *Nature Neuroscience*. vol. 11, no 10, p. 1217-1222.
- Perkell, J., H. Lane, M. Svirsky et J. Webster. 1992. «Speech of cochlear implant patients: A longitudinal study of vowel production». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 91, p. 2961-2978.

- Perkell, J. S. 1979. «On the use of orosensory feedback: An interpretation of compensatory articulatory experiments». *Proceedings of the Ninth International Congress of Phonetic Sciences*, 2: 358-364 p.
- , 2007. «Sensory goals and control mechanisms for phonemic articulations». *Proceedings of International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS) XVI*, Saarbrücken (Allemagne).
- Perkell, J. S. , M. L. Matthies, M. A. Svirsky et M. I. Jordan. 1993. «Trading relations between tongue-body raising and lip rounding in production of the vowel /u/: A pilot "motor equivalence" study». *Journal of the Acoustical Society of America*, no 93, p. 2948.
- Perkell, J. S., et M. Cohen. 1989. «An indirect test of the quantal nature of speech in the production of the vowels /i/, /a/, and /u/». *Journal of Phonetics*. vol. 17, p. 123-133.
- Perkell, J. S., F. H. Guenther, H. Lane, M. Matthies, P. Perrier, J. Vick, R. Wilhelms-Tricarico et M. Sandipour. 2000. «A theory of speech motor control and supporting data from speakers with normal hearing and with profound hearing loss». *Journal of Phonetic*. vol. 28, p. 233-272.
- Perkell, J. S., H. Lane, M. Denny, M. L. Matthies, M. Tiede, M. Zandipour, J. Vick et E. Burton. 2007. «Time course of speech changes in response to short-term changes in hearing state». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 121, p. 2296-2311.
- Perkell, J. S., M. L. Matthies, M. A. Svirsky et M. I. Jordan. 1995. «Goal-based speech motor control: a theoretical framework and some preliminary data». *Journal of Phonetics*. vol. 23, p. 23-35.
- Perkell, J. S., M. Matthies, H. Lane, F. H. Guenther, R. Wilhelms-Tricarico, J. Wozniak et P. Guiod. 1997. «Speech motor control: Acoustic goals, saturation effects, auditory feedback and internal models». *Speech Communication*. vol. 22, p. 227-250.
- Perrier, P. 2005. «Control and representations in speech production». *ZAS Papers in Linguistics*. vol. 40, p. 109-132.
- Pulvermuller, F. 2005. «Brain mechanisms linking language and action». *Nature Reviews Neuroscience. Special Issue: Focus on Pain*. vol. 6, no 7, p. 576-582.
- Pulvermuller, F., O. Hauk, V. Nikulin et R. J. Ilmoniemi. 2005. «Functional links between motor and language systems». *European Journal of Neuroscience*. vol. 21, no 3, p. 793-797.

- Pulvermuller, F., M. Huss, F. Kherif, F. M. del Prado Martin, O. Hauk, Y. Shtyrov et D. Purves. 2006. «Motor cortex maps articulatory features of speech sounds». *PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. vol. 103, no 20, p. 7865-7870.
- Purcell, D. W., et K. G. Munhall. 2006. «Adaptive control of vowel formant frequency: Evidence from real-time formant manipulation». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 120, no 2, p. 966-977.
- Remijsen, B. 2004. «Script to measure & check formants (based on intervaltier)». En ligne. <<http://www.ling.ed.ac.uk/~bert/praatscripts.html>>.
- Rizzolatti, G., et L. Craighero. 2004. «The Mirror-Neuron System». *Annual Review of Neuroscience*. vol. 27, p. 169-192.
- Savariaux, C., L.-J. Boë et P. Perrier. 1997. «How can the control of the vocal tract limit the speaker's capability to produce the ultimate perceptive objectives of speech?». *Proceedings of the 5Th European Conference on Speech Communication and Technology*, Rhodes (Grèce).
- Savariaux, C., P. Perrier et J.-P. Orliaguet. 1995. «Compensation strategies for the perturbation of the rounded vowel [u] using a lip tube: A study of the control space in speech production». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 98, no 5, p. 2428-2442.
- Savariaux, C., P. Perrier, J.-P. Orliaguet et J. L. Schwartz. 1999. «Compensation strategies for the perturbation of French [u] using a lip tube. II. Perceptual analysis». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 106, no 1, p. 381-393.
- Schwartz, J. L., C. Abry, L.-J. Boë et M.-A. Cathiar. 2002. «Phonology in a theory of perception-for-action-control». In *Phonetics, phonology, and cognition*, J. Durand et B. Laks, p. 254-280: Oxford University Press.
- Shergill, S. S., M. J. Brammer, R. Fukuda, E. Bullmore, E. Amaro, R. M. Murray et P. K. McGuire. 2002. «Modulation of activity in temporal cortex during generation of inner speech». *Human Brain Mapping*. vol. 16, no 4, p. 219-227.
- Shiller, D. M. , M. Sato, V. L. Gracco et S. R. Baum. 2009. «Perceptual recalibration of speech sounds following speech motor learning». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 125, no 2, p. 1103-1113.

- Skipper, J. I., S. Goldin-Meadow, H. C. Nusbaum et S. L. Small. 2007^a. «Speech-associated gestures, Broca's area, and the human mirror system». *Brain and Language*. vol. 101, no 3, p. 260-277.
- Skipper, J. I., H. C. Nusbaum et S. L. Small. 2005. «Listening to talking faces: motor cortical activation during speech perception». *NeuroImage*. vol. 25, p. 76-89.
- , 2006. «Lending a helping hand to hearing: another motor theory of speech perception». In *Action via Language via the Mirror Neuron System*, Michael A. ARBIB, p. 250-285: Cambridge University Press.
- Skipper, J. I., V. van Wassenhove, H. C. Nusbaum et S. L. Small. 2007^b. «Hearing lips and seeing voices: How cortical areas supporting speech production mediate audiovisual speech perception». *Cerebral Cortex*. vol. 17, no 10, p. 2387-2399.
- Stevens, K. N., et S. E. Blumstein. 1981. «The search for invariant acoustic correlates of phonetic features». In *Perspectives on the study of speech*, Peters D. Eimas & Joanne L. Miller, p. 1-38. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Stevens, K.N. 1989. «On the quantal nature of speech». *Journal of Phonetics*. vol. 17, p. 3-45.
- Svirsky, M. A., H. Lane, J. Perkell et J. Wozniak. 1992. «Effects of short-term auditory deprivation on speech production in adult cochlear implant users». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 92, no 3, p. 1284-1300.
- Svirsky, M. A., A. Silveira, H. Neuburger, S. W. Teoh et H. Suarez. 2004. «Long-term auditory adaptation to a modified peripheral frequency map». *Acta Oto-Laryngol*. vol. 124, p. 381-386.
- Svirsky, M. A., et E. A. Tobey. 1991. «Effect of different types of auditory stimulation on vowel formant frequencies in multichannel cochlear implant users». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 89, no 6, p. 2895-2904.
- Tye, N., G. N. Zimmermann et S. Kelso. 1983. ««Compensatory articulation» in hearing impaired speakers : A cinefluorographic study». *Haskins Laboratories : Status Report on Speech Research*. vol. sd, p. 293-309.
- Villacorta, V., J. S. Perkell et F. H. Guenther. 2004. «Sensorimotor adaptation to acoustic perturbations in vowel formants». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 115, p. 2430.

- Villacorta, V., J. S. Perkell et F. H. Guenther. 2007. «Sensorimotor adaptation to feedback perturbations of vowel acoustics and its relation to perception». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 122, no 4, p. 2306–2319.
- Waldstein, R. 1990. «Effects of poslingual deafness on speech production : Implication for the role of auditory feedback ». *Journal of the Acoustical Society of America*. vol. 88, p. 2099-2114.
- Watkins, K. E., A. P. Strafella et T. Paus. 2003. «Seeing and hearing speech excites the motor system involved in speech production». *Neuropsychologia*. vol. 41, no 8, p. 989-994.
- Watkins, K., et T. Paus. 2004. «Modulation of motor excitability during speech perception: The role of broca's area». *Journal of Cognitive Neuroscience*. vol. 16, no 6, p. 978-987.
- Whalen, D. H., K. Iskarous, M. Tiede, D. J. Ostry, H. Lehnert-LeHouillier, E. Vatikiotis-Bateson et D. S. Hailey. 2005. «The Haskins optically corrected ultrasound system (HOCUS)». *Journal of Speech, Language and Hearing Research*. vol. 48, p. 1-11.
- Wilson, S. M., A. P. Saygin, M. I. Sereno et M. Iacoboni. 2004. «Listening to speech activates motor areas involved in speech production». *Nature Neuroscience*. vol. 7, no 7, p. 701-702.
- Wrench, A. (2008). Instruments Articulate Ltd.: Ultrasound Stabilisation Headset Users Manual: Revision 1.13. Edinburgh, UK
- Yates, A. J. 1963. «Delayed auditory feedback». *Psychological Bulletin*. vol. 60, no 3, p. 213-232.
- Zimmermann, G., et P. Rettaliata. 1981. «Articulatory patterns of an adventitiously deaf speaker: Implications for the role of auditory information in speech production». *Journal of Speech and Hearing Research*. vol. 24, p. 169-178.