

UNIVERSITE AIX-MARSEILLE I – Université de Provence

U.F.R. L.A.C.S.

*N° attribué par la bibliothèque*

/ / / / / / / / / / / / / / /

**THESE**

pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE AIX-MARSEILLE I**

*Formation doctorale : Langage et Parole*

Présentée et soutenue publiquement

par

**JULIE LOCCO**

le 5 décembre 2005

**LA PRODUCTION DES OCCLUSIVES DANS LA MALADIE DE PARKINSON**

---

**Sous la direction de Noël Nguyen**

---

**JURY**

**Claire Gérard, Professeur, rapporteur, présidente du jury**

**Rudolph Sock, Professeur, rapporteur**

**Danielle Duez, Directrice de recherches**

**François Viallet, Praticien hospitalier**

**Noël Nguyen, Professeur, directeur**

## **Remerciements ...**

*Je remercie le Docteur François Viallet pour son accueil au Centre Hospitalier du pays d'Aix ainsi que Ludovic Jankowski et Alain Purson pour la réalisation des enregistrements et leur patience à mon égard. Mes remerciements vont également à Noël Nguyen pour son écoute et ses précieux conseils ainsi qu'à Alain Ghio pour son attention particulière. J'adresse toute ma reconnaissance aux patients et aux sujets témoins pour leur participation aux enregistrements. Merci aussi à Bernard Teston pour toutes nos discussions, à Chantal Atger et Alain Giacomi qui m'ont encouragée à persévérer, à Robert Espesser et Cyril Deniaud pour leurs interventions salvatrices (!), à Véronique Rey, Pascal Roméas et Jean Véronis qui m'ont ouvert les portes de l'enseignement, à mes amies Laurie Ledoux et Nadège Albernay pour leur soutien, et à Simone Dufour et Armelle Bonpain pour leur gentillesse et leurs nombreux services. Je salue sincèrement tous mes camarades thésards déjà ou bientôt docteurs... Pour finir, je remercie infiniment l'association France-Parkinson qui a financé cette dernière année de recherche et qui a rendu possible la soutenance en 2005.*

## TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION</b> .....	10
<b>CHAPITRE I</b> .....	13
<b>La production des consonnes occlusives</b> .....	13
I. La production de la parole: Quelques généralités.....	14
II. La description articuloire des consonnes occlusives orales bilabiales /p/ et /b/ du français	17
.....	17
II.1. Le lieu et le mode articuloire .....	17
II.2. Les mouvements articuloires .....	18
II.3. Les différentes phases articuloires .....	20
II.4. Le mode phonatoire .....	24
II.5. L'effet de coarticulation : la variabilité attestée .....	25
II.6. Les différences entre les occlusives du français et celles de l'anglais .....	27
III. La description acoustique des consonnes occlusives orales bilabiales /p/ et /b/ du français .	29
.....	29
III.1. L'occlusive non voisée.....	29
III.2. L'occlusive voisée.....	29
IV. La description aérodynamique des consonnes occlusives orales bilabiales /p/ et /b/ du français	30
.....	30
IV.1. La circulation de l'air pendant la production de parole .....	30
IV.2. Les contraintes physiologiques .....	32
IV.3. L'occlusive non voisée.....	33
IV.4. L'occlusive voisée.....	33
IV.5. Les différentes phases aérodynamiques .....	34
IV.6. Données aérodynamiques de référence.....	37
V. Les occlusives en contexte de parole pathologique : la dysarthrie parkinsonienne .....	39
V.1. Description des phénomènes aérodynamiques.....	39
V.2. Le dysfonctionnement des cordes vocales .....	42
V.3. Les perturbations respiratoires .....	43
V.4. Les mouvements articuloires .....	44
V.5. Le phénomène de spirantisation .....	45
<b>Pour résumer</b> ... ..	47
<b>CHAPITRE II</b> .....	48
<b>La production de parole pathologique: la dysarthrie parkinsonienne</b> .....	48
I. Les dysarthries .....	49
I.1. Définition générale.....	49
I.2. Distinction entre aphasie, dysarthrie et apraxie de parole .....	50
I.3. Les différentes classifications des dysarthries .....	51
I.4. Les différents types d'évaluation de la dysarthrie .....	53
I.5. La variabilité de la dysarthrie .....	58
<b>Pour résumer</b> ... ..	60
II. La dysarthrie parkinsonienne.....	61
II.1. Physiopathologie de la dysarthrie parkinsonienne .....	61
II.2. Les troubles moteurs parkinsoniens associés à la dysarthrie.....	62
II.3. Une dysarthrie hypokinétique.....	62
II.4. Sévérité de la maladie de Parkinson versus sévérité de la dysarthrie hypokinétique....	64

<b>Pour résumer...</b>	65
III. La description perceptive de la dysarthrie parkinsonienne	66
III.1. La parole : volume, débit et prosodie	67
III.2. La voix : qualité, timbre, hauteur et intensité	69
III.3. Fréquence des troubles	72
III.4. Niveau segmental	73
III.4.1. Les articulateurs et les résonateurs	73
III.4.2. La production des consonnes	74
III.5. Une étude perceptive : un exemple détaillé	76
<b>Pour résumer...</b>	79
IV. Etudes instrumentales : description objective de la dysarthrie parkinsonienne	80
IV.1. Importance de la tâche de production de parole	81
IV.2. Etudes acoustiques	82
IV.2.1. Niveau laryngé	82
IV.2.2. Le niveau supralaryngé	93
IV.2.3. Niveau supralinguistique	96
IV.3. Analyses à partir de données acoustiques, cinétiques et/ou physiologiques	105
IV.3.1. Le phénomène de festination de la parole	105
IV.3.2. La bradykinésie, l'hypokinésie, l'akinésie et la dyskinésie	106
IV.3.3. L'observation du larynx	112
IV.3.4. La coordination des mouvements articulatoires	115
IV.4. Etudes à partir de données acoustiques et aérodynamiques	115
IV.4.1. L'insuffisance respiratoire	115
IV.4.2. La résistance laryngée	117
IV.4.3. Le contrôle vélopharyngé	117
IV.5. Apports des données TEP et/ou IFRM	118
<b>Pour résumer...</b>	119
V. La perception en contexte de maladie de Parkinson : un déficit temporel	120
<b>Pour résumer...</b>	122
VI. L'intelligibilité de la parole parkinsonienne : l'importance de la tâche de production	123
<b>Pour résumer...</b>	126
VII. Les effets des différents traitements antiparkinsoniens sur la dysarthrie	127
VII.1. Les traitements pharmacologiques	127
VII.1.1. La L-dopa	127
VII.1.2. Autres traitements pharmaceutiques	141
VII.2. Les traitements chirurgicaux	142
VII.2.1. La stimulation cérébrale	143
VII.2.2. Autres techniques lésionnelles	150
VII.3. La prise en charge orthophonique et son effet sur la dysarthrie parkinsonienne	152
VII.4. Autres traitements	155
<b>Pour résumer...</b>	156
<b>CHAPITRE III</b>	157
<b>La maladie de Parkinson Idiopathique: la MPI</b>	157
I. Historique de la maladie de Parkinson	158
II. Processus lésionnel responsable de la maladie	158
III. Autres syndromes parkinsoniens	159
IV. Les symptômes de la maladie de Parkinson	160
IV.1. Processus symptomatique	160
IV.2. Les signes moteurs	160
IV.3. Les signes non moteurs	161

V. La population concernée .....	161
VI. L'étiologie de la maladie de Parkinson.....	162
VII. Les critères diagnostiques de la maladie de Parkinson.....	163
VIII. Les examens complémentaires .....	164
IX. Les échelles d'évaluation utiles pour le suivi de la maladie.....	164
X. Les traitements proposés aux patients .....	166
X.1. Les traitements Pharmacologiques .....	166
X.1.1. La L-dopa .....	167
X.1.2. Les symptômes liés au traitement : les fluctuations et les dyskinésies .....	168
X.1.3. Les effets à long terme de la L-dopa .....	168
X.2. Les traitements chirurgicaux .....	169
X.2.1. Les techniques lésionnelles .....	169
X.2.2. La stimulation cérébrale profonde.....	169
X.2.3. Les greffes cellulaires.....	171
X.3. Autres techniques récentes .....	172
X.3.1. Injection protéinique .....	172
X.3.2. Thérapie génique .....	172
X.4. Les rééducations fonctionnelles .....	172
XI. Complications et/ou effets secondaires dus aux traitements.....	173
<i>Pour résumer ...</i> .....	174
<b>CHAPITRE IV</b> .....	175
<b>Problématique et Méthodologie</b> .....	175
I. Problématique .....	175
II. Méthodologie.....	178
II.1. Protocole d'enregistrement.....	178
II.1.1. Instrumentation.....	178
II.1.2. Conditions d'enregistrement .....	179
II.1.3. Corpus .....	180
II.1.3.1. Contexte .....	180
II.1.3.2. Tâche de production .....	181
II.1.3.3. Corpus effectif.....	181
II.1.4. Sujets .....	183
II.2. Dispositif expérimental.....	184
II.2.1. Traitement des données .....	184
II.2.2. Matériel méthodologique .....	185
II.2.3. Procédure d'étiquetage .....	185
II.3. Procédure d'analyse.....	188
II.3.1. Objectifs .....	188
II.3.2. Analyse temporelle.....	189
II.3.2.1. Durée des différentes phases articulatoires : vitesse des mouvements articulatoires .....	189
♦ La phase de tenue de l'occlusive.....	189
♦ La phase de fermeture de l'occlusive .....	190
♦ La phase d'ouverture de l'occlusive.....	190
II.3.2.2. Observation de la synchronisation des événements aérodynamiques : coordination des mouvements articulatoires .....	191
II.3.3. Analyse de la quantité de Dab pendant la phase de tenue de l'occlusion : indice de fuite .....	191
II.3.4. Analyse du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive .....	192

II.3.5. Observation du voisement : indice des phénomènes de voisement et de dévoisement 193	
II.3.6. Test de transcription : taux d'intelligibilité.....	194
<i>Pour résumer ...</i> .....	196
<b>CHAPITRE V</b> .....	197
<b>Résultats / Données aérodynamiques</b> .....	197
I. Recueil des données aérodynamiques et temporelles .....	198
II. Analyse des données aérodynamiques .....	199
II.1. Analyse de la pression intra-orale .....	199
II.1.1. Analyse de la pression intra-orale maximale pendant la phase de tenue de l'occlusive ou pic de Pio : valeur de la Pio relevée à l'étiquette p .....	199
II.1.1.1. Pic de Pio selon le traitement et la condition d'enregistrement, toutes répétitions confondues .....	199
II.1.1.2. Pic de Pio pour /p/ et pour /b/ selon le traitement et la condition d'enregistrement	200
II.1.1.3. Pic de Pio pour les occlusives /p/ et /b/ confondues en contexte vocalique [a_a] et en contexte vocalique [i_i] selon le traitement et la condition d'enregistrement .....	201
II.1.1.3.a. Pic de Pio toutes répétitions confondues pour chaque sujet selon la condition d'enregistrement.....	202
II.1.1.3.b. Pic de Pio pour /p/ et pour /b/ pour chaque sujet, selon la condition d'enregistrement.....	203
II.1.1.4. Pic de Pio pour /p/ et /b/ confondues pour chaque sujet selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement .....	204
II.1.1.5. Pic de Pio relevé pendant la tenue de l'occlusive pour les répétitions de [apa], [aba], [ipi] et [ibi] pour chacun des 10 sujets selon la condition d'enregistrement.....	204
II.1.2. Analyse de la pression intra-orale pendant toute la durée de l'occlusive : Pio moyenne relevée entre les étiquettes 1 et 4.....	211
II.1.2.1. Pio moyenne selon le traitement et la condition d'enregistrement, toutes répétitions confondues .....	211
II.1.2.2. Pio moyenne pour /p/ et pour /b/ selon le traitement et la condition d'enregistrement 212	
II.1.2.3. Pio moyenne durant la production des occlusives /p/ et /b/ confondues en contexte vocalique [a_a] et en contexte vocalique [i_i] selon la condition d'enregistrement.....	213
II.1.2.4. Pio moyenne toutes répétitions confondues pour chaque sujet selon la condition d'enregistrement.....	214
II.1.2.5. Pio moyenne pour /p/ et pour /b/ pour chaque sujet selon la condition d'enregistrement.....	215
II.1.2.6. Pio moyenne pour /p/ et /b/ confondues pour chaque sujet selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement .....	215
II.2. Analyse du débit d'air buccal pendant la phase de tenue de l'occlusive.....	217
II.2.1. Dab moyen selon le traitement et la condition d'enregistrement, toutes répétitions confondues .....	217
II.2.2. Dab moyen pour /p/ et pour /b/ selon le traitement et la condition d'enregistrement .	218
II.2.3. Dab moyen pour les occlusives /p/ et /b/ confondues en contexte vocalique [a_a] et en contexte vocalique [i_i] selon le traitement et la condition d'enregistrement .....	219
II.2.4. Dab moyen toutes répétitions confondues pour chaque sujet selon la condition d'enregistrement.....	220
II.2.5. Dab moyen pour /p/ et pour /b/ pour chaque sujet, selon la condition d'enregistrement 221	
II.2.6. Dab moyen pour /p/ et /b/ confondues pour chaque sujet selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement.....	222

III. Analyse des données temporelles.....	224
III.1. Analyse de la durée totale de l’occlusive .....	224
III.1.1. Durée de l’occlusive selon le traitement et la condition d’enregistrement .....	224
III.1.2. Durée des occlusives /p/ et /b/ selon le traitement et la condition d’enregistrement .	224
III.1.3. Durée de l’occlusive, /p/ et /b/ confondues, en contexte vocalique [a_a] et en contexte vocalique [i_i] selon la condition d’enregistrement.....	225
III.1.4. Durée de l’occlusive toutes répétitions confondues pour chaque sujet selon la condition d’enregistrement.....	226
III.1.5. Durée des occlusives /p/ et /b/ pour chaque sujet selon la condition d’enregistrement	226
III.1.6. Durée de l’occlusive, /p/ et /b/ confondues pour chaque sujet selon le contexte vocalique et la condition d’enregistrement .....	227
III.2. Analyse de la durée des différentes phases de l’occlusive.....	229
III.2.1. Analyse de la durée de la phase de fermeture de l’occlusive.....	229
III.2.1.1. Durée de la phase de fermeture de l’occlusive selon le traitement et la condition d’enregistrement, toutes répétitions confondues.....	229
III.2.1.2. Durée de la phase de fermeture de l’occlusive pour /p/ et pour /b/ selon le traitement et la condition d’enregistrement.....	230
III.2.1.3. Durée de la phase de fermeture pour les occlusives /p/ et /b/ confondues en contexte vocalique [a_a] et en contexte vocalique [i_i] selon le traitement et la condition d’enregistrement.....	231
III.2.1.4. Durée de la phase de fermeture de l’occlusive toutes répétitions confondues pour chaque sujet selon la condition d’enregistrement .....	232
III.2.1.5. Durée de la phase de fermeture de l’occlusive pour /p/ et pour /b/ pour chaque sujet, selon la condition d’enregistrement .....	232
III.2.1.6. Durée de la phase de fermeture de l’occlusive pour /p/ et /b/ confondues pour chaque sujet selon le contexte vocalique et la condition d’enregistrement.....	233
III.2.2. Analyse de la durée de la phase de tenue de l’occlusive.....	235
III.2.2.1. Durée de la phase de tenue de l’occlusive selon le traitement et la condition d’enregistrement, toutes répétitions confondues.....	235
III.2.2.2. Durée de la phase de tenue de l’occlusive pour /p/ et pour /b/ selon le traitement et la condition d’enregistrement.....	235
III.2.2.3. Durée de la phase de tenue pour les occlusives /p/ et /b/ confondues en contexte vocalique [a_a] et en contexte vocalique [i_i] selon le traitement et la condition d’enregistrement.....	236
III.2.2.4. Durée de la phase de tenue de l’occlusive toutes répétitions confondues pour chaque sujet selon la condition d’enregistrement.....	237
III.2.2.5. Durée de la phase de tenue de l’occlusive pour /p/ et pour /b/ pour chaque sujet, selon la condition d’enregistrement .....	238
III.2.2.6. Durée de la phase de tenue de l’occlusive pour /p/ et /b/ confondues pour chaque sujet selon le contexte vocalique et la condition d’enregistrement.....	238
III.2.3. Analyse de la durée de la phase d’ouverture de l’occlusive .....	240
III.2.3.1. Durée de la phase d’ouverture de l’occlusive selon le traitement et la condition d’enregistrement, toutes répétitions confondues.....	240
III.2.3.2. Durée de la phase d’ouverture de l’occlusive pour /p/ et pour /b/ selon le traitement et la condition d’enregistrement.....	241
III.2.3.3. Durée de la phase d’ouverture pour les occlusives /p/ et /b/ confondues en contexte vocalique [a_a] et en contexte vocalique [i_i] selon le traitement et la condition d’enregistrement.....	241

III.2.3.4. Durée de la phase d'ouverture de l'occlusive toutes répétitions confondues pour chaque sujet selon la condition d'enregistrement .....	242
III.2.3.5. Durée de la phase d'ouverture de l'occlusive pour /p/ et pour /b/ pour chaque sujet, selon la condition d'enregistrement .....	243
III.2.3.6. Durée de la phase d'ouverture de l'occlusive pour /p/ et /b/ confondues pour chaque sujet selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement .....	243
III.3. Analyse de l'organisation temporelle de l'occlusive .....	245
III.4. Analyse de la synchronisation des mouvements articulatoires : durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6. ....	246
III.4.1. Durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 selon le traitement et la condition d'enregistrement, toutes répétitions confondues .....	246
III.4.2. Durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour /p/ et pour /b/ selon le traitement et la condition d'enregistrement .....	247
III.4.3. Durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour les occlusives /p/ et /b/ confondues en contexte vocalique [a_a] et en contexte vocalique [i_i] selon le traitement et la condition d'enregistrement.....	248
III.4.4. Durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 toutes répétitions confondues pour chaque sujet selon la condition d'enregistrement .....	249
III.4.5. Durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour /p/ et pour /b/ pour chaque sujet, selon la condition d'enregistrement .....	250
III.4.6. Durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour /p/ et /b/ confondues pour chaque sujet selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement.....	251
III.4.7. Les différentes configurations de l'intervalle de synchronisation .....	252
III.4.8. Les évènements de pression et de débit sont synchronisés : dur36 nulle.....	253
III.4.9. Les évènements de pression et de débit ne sont pas synchronisés : dur36 négative ..	254
III.4.10. Les évènements de pression et de débit ne sont pas synchronisés : dur36 positive. ....	256
<b>Pour résumer...</b> .....	258
<b>CHAPITRE VI</b> .....	259
<b>Résultats / Données acoustiques</b> .....	259
I. Recueil des données acoustiques.....	260
II. Le voisement pendant la tenue : indice acoustique de l'opposition /p/ ~ /b/ .....	266
II.1. Le voisement pendant la tenue de l'occlusion pour les occlusives non voisées .....	266
II.2. Le voisement pendant la tenue de l'occlusion pour les occlusives voisées .....	268
III. La barre d'explosion : indice acoustique du relâchement d'une occlusion .....	271
IV. La présence de bruits de friction pendant la tenue .....	274
V. La présence de bruit de friction au relâchement de l'occlusion.....	276
VI. Quels renseignements sont donnés par la transcription phonétique ?.....	278
Pour résumer ... ..	283
<b>CHAPITRE VII</b> .....	284
<b>Discussion</b> .....	284
<b>CONCLUSION</b> .....	293
<b>Références bibliographiques</b> .....	295
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS</b> .....	305
<b>ANNEXES</b> .....	311

## ANNEXES

Annexe 1: Tableau des données brutes de références pour les 10 parkinsoniens, pour toutes les répétitions et dans les deux conditions d'enregistrement. ....	335
Annexe 2: Valeurs du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive /p/ pour les répétitions de [apa] pour le sujet d01 en état Off. ....	335
Annexe 3: Valeurs du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive /b/ pour les répétitions de [aba] pour le sujet d01 en état Off. ....	335
Annexe 4: Valeurs du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive /p/ pour les répétitions de [ipi] pour le sujet d01 en état Off. ....	336
Annexe 5: Valeurs du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive /b/ pour les répétitions de [ibi] pour le sujet d01 en état Off. ....	336
Annexe 6: Valeurs du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive /p/ pour les répétitions de [apa] pour le sujet d01 en état On. ....	336
Annexe 7: Valeurs du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive /b/ pour les répétitions de [aba] pour le sujet d01 en état On. ....	337
Annexe 8: Valeurs du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive /p/ pour les répétitions de [ipi] pour le sujet d01 en état On. ....	337
Annexe 9: Valeurs du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive /b/ pour les répétitions de [ibi] pour le sujet d01 en état On. ....	337
Annexe 10: Tableau de l'indice de voisement pour les répétitions de [apa] et de [aba] pour les 10 sujets dans les deux conditions d'enregistrement Off et On. ....	338

## INTRODUCTION

Les parkinsoniens sont de plus en plus nombreux et se plaignent, entre autre, d'un problème de parole; bien qu'ils arrivent à se faire comprendre, ils sont gênés dans la pratique de cet acte social qui trahi la maladie. Les parkinsoniens souffrent de dysarthrie hypokinétique qui se manifeste sur tous les plans de la production de la parole ; respiration, phonation, articulation, nasalisation et prosodie. Nous avons pour objectif de décrire la production de la parole parkinsonienne et de comprendre comment l'hypokinésie se répercute sur les mouvements articulatoires des sons de la parole. Face à l'étendue des dysfonctionnements nous avons ciblé notre travail sur les aspects articulatoires de la parole et plus précisément sur les perturbations caractéristiques des consonnes occlusives. Le phénomène de spirantisation, selon lequel les occlusives serait remplacées par des fricatives, est relaté dans la littérature observant la dysarthrie parkinsonienne. Nous avons voulu observer en détail cette erreur articulatoire. Ce phénomène pathologique rencontré en contexte de maladie de parkinson est également effectif de façon accidentelle en contexte de parole normale, en effet les locuteurs réalisent des occurrences articulatoires plus ou moins éloignées de la réalisation cible dues aux conditions de coarticulation et qui répondent à la loi du moindre effort. Par ailleurs, les théories en perception de la parole soutiennent l'existence d'un processus qui permet à l'oreille de reconstituer ces erreurs en fonction du contexte. Nous voulons comprendre dans quelle mesure ce phénomène devient pathologique chez les parkinsoniens alors que nos premières observations ne révèlent pas de systématisme. Nous avons établi un protocole expérimental auprès de 10 parkinsoniens afin d'avoir accès, de façon simultanée, aux données acoustiques et aérodynamiques qui accompagnent la production des occlusives. Ces parkinsoniens se divisent en deux groupes car ils ne suivent pas le même traitement thérapeutique anti-parkinsonien. Le recueil de ce type de données (acoustiques et aérodynamiques) auprès de cette population (parkinsonienne) et dans les conditions que nous voulions analyser (avec et

sans traitement), représente une difficulté de mise en œuvre. Les inconvénients majeurs rencontrés lors du recueil des données résident dans le manque d'autonomie de l'expérimentateur ; la présence d'un neurologue est requise, le matériel utilisé est lourd et demande un certain apprentissage, et surtout les parkinsoniens sont soumis à des fluctuations qui peuvent compromettre à tout moment les enregistrements. Nous avons donc minimisé les complications et proposé un corpus succinct aux consignes explicites. C'est au travers de l'analyse des mécanismes acoustiques et aérodynamiques impliqués dans la production des deux occlusives bilabiales du français /p/ et /b/ en tâche de répétition que nous tenterons de décrire les dysfonctionnements articulatoires associés à la dysarthrie parkinsonienne. Cependant, l'importance qualitative de notre corpus provient du fait que nous disposons de données enregistrées dans des états thérapeutiques différents. Chaque parkinsonien est enregistré avec et sans traitement (On et Off), et le traitement proposé peut être de différente nature, il est médicamenteux pour certains (L-Dopa) et chirurgical pour d'autres (SST). Nous disposons alors de 4 types de données. C'est cet aspect que nous avons voulu mettre en avant dans notre travail de recherche car peu d'études sur la dysarthrie parkinsonienne ont eu la possibilité d'observer ces différents types de données. Nous procédons donc par comparaison pour un même groupe de sujets selon la condition d'enregistrement et pour une même condition d'enregistrement selon la nature du traitement. En d'autres termes, nous observons les effets du traitement sur la production des occlusives et la nature de ces effets selon la nature du traitement. Par ailleurs, nous avons décidé, dans un premier temps, de ne pas considérer de données de sujets témoins et de ne pas analyser les possibles variations dues au sexe du locuteur. Nous projetons bien sûr de donner suite à ce travail de recherche dans cette perspective.

Notre mémoire de Thèse se sectionne en sept chapitres. Dans un **premier chapitre**, nous ferons une revue de la littérature portant sur la production des occlusives du français en contexte de parole normale afin de définir notre sujet d'étude puis en contexte de parole pathologique afin d'introduire les notions clefs qui seront reprises par la suite. Nous présenterons dans un **second chapitre** les différents aspects de la dysarthrie parkinsonienne en ayant soin de proposer un compte rendu de tous les articles portés à notre connaissance sur les aspects articulatoires de la dysarthrie parkinsonienne ainsi que quelques références au sujet de la prosodie, nasalisation, phonation, etc. à titre de brève présentation de l'étendue des dysfonctionnements. Le **troisième chapitre** portera sur la maladie de Parkinson. Cependant, nous reconnaissons qu'un chapitre axé essentiellement sur des données médicales et neurologiques au sein d'un mémoire de Thèse en Langage et Parole aurait une place plus

appropriée en fin de document mais nous ne souhaitons pas le reléguer en annexe car cette présentation succincte de la maladie est nécessaire et comporte toutes les informations utiles à l'appréhension de la suite de notre étude. La dysarthrie parkinsonienne est abordée au titre de domaine d'application à la phonétique expérimentale mais nous avons voulu connaître, autant que possible, les mécanismes qui gouvernent la maladie de Parkinson afin d'en déduire certaines de leurs incidences au niveau de la parole. Le **quatrième chapitre** présente la problématique et l'aspect méthodologique de notre étude avec la présentation du matériel utilisé, du protocole expérimental et du corpus. Les résultats de nos travaux constituent les **cinquième et sixième chapitres**, l'un se consacre aux données aérodynamiques et l'autre aux données acoustiques. Au **septième chapitre**, la discussion reprend de façon synthétique les principaux résultats au regard des différentes études précédemment développées au cours des deux premiers chapitres. Enfin, notre **conclusion** fait un bref récapitulatif de ce que nous avons mis en exergue et propose les perspectives de notre étude dans le cadre de la poursuite de nos travaux dans le domaine de la parole dysarthrique et plus largement de la parole pathologique.

## CHAPITRE I

### La production des consonnes occlusives

Les sons de la parole peuvent être décrits selon différents points de vue. Le domaine de la production de la parole examine la façon dont sont produits les sons et le domaine de la perception examine comment ils sont perçus. Notre étude s'engage dans le domaine de la production de la parole. Nous aurons besoin, dans un premier temps, de considérer les descriptions articulatoire, acoustique et aérodynamique de la parole afin d'aborder la description de la production de la parole pathologique. Nous nous intéresserons essentiellement aux consonnes occlusives parce que, comme nous allons le voir, elles sont particulièrement altérées en contexte de dysarthrie parkinsonienne. Nous insisterons sur les occlusives bilabiales qui sont principalement observées au cours de notre étude et qui constitueront notre corpus. Ce chapitre constitue un ensemble de pré requis nécessaires à l'appréhension de notre étude mais se confronte au déficit quantitatif de travaux sur la production des occlusives en français qui sont plus souvent abordées d'un point de vue perceptif. La phonétique articulatoire concernant la production des occlusives compte de nombreuses références bibliographiques mais qui sont principalement issues des études anglophones et anglo-américaines or certaines différences opposent les occlusives du français de celles de l'anglais et nous devons prendre en compte ces distinctions.

## I. La production de la parole: Quelques généralités

La production de parole nécessite la coordination d'une centaine de muscles qui permet jusqu'à 15 sons à la seconde (Segui & Ferrand 2000, Levelt 1989). Les structures impliquées dans la production de la parole (figure 1) sont l'appareil respiratoire (les poumons), le larynx (les cordes vocales) et l'appareil vocal (les articulateurs et les cavités de résonances).

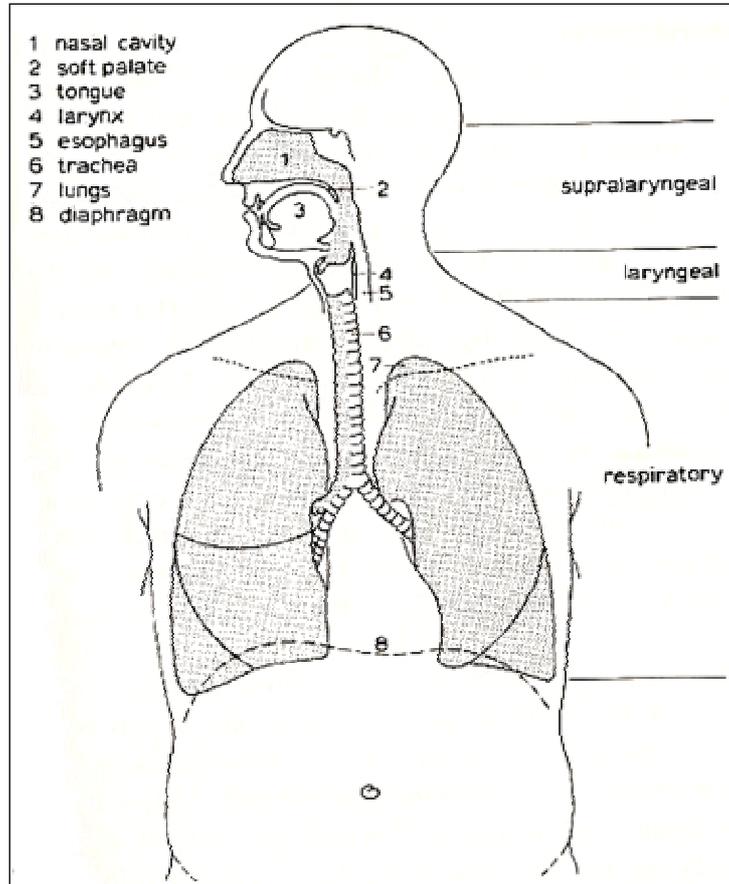


Figure 1 : Les structures respiratoire, laryngée et supralaryngée, d'après Levelt 1989, p. 423

La majorité des sons des langues du monde sont produits sur un flux d'air égressif, c'est-à-dire provenant des poumons et se dirigeant vers l'extérieur du corps humain. Il existe différents mécanismes permettant le mouvement d'un volume suffisant d'air afin de rendre audibles les événements articulatoires et phonatoires (Laver 1994). Le mécanisme majoritairement employé par les langues du monde est l'utilisation du système respiratoire (« pulmonic airstream mechanism »). Pendant l'activité de parole la respiration se modifie, elle s'adapte à la chaîne parlée et les inspirations sont brèves tandis que les expirations sont de plus longues durées. Le larynx (figure 2 a) et b)) est la première source des sons de la parole, il est phonateur. Sa structure osséocartilagineuse complexe contrôle les cordes vocales dont la muqueuse vibre lorsqu'elles sont en adduction afin de produire la voix.

Chapitre I  
La production des consonnes occlusives

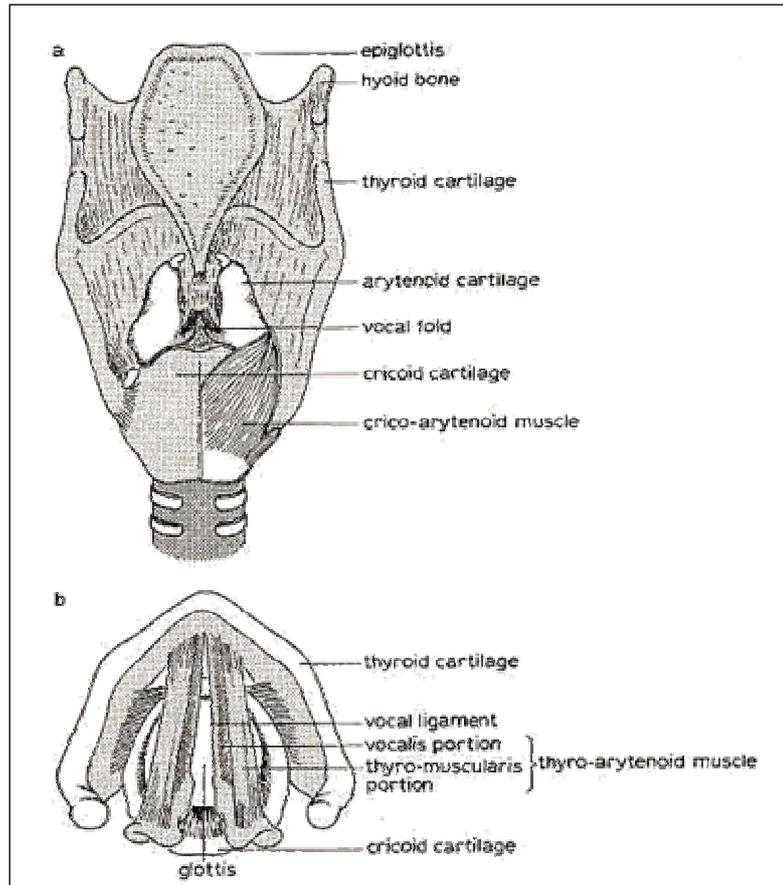


Figure 2 : a) Vue postérieure du larynx, b) Vue de dessus des cordes vocales, d'après Levelt 1989, p425

L'appareil vocal (figure 3) qui s'étend des cordes vocales aux lèvres comprend les cavités de résonances et les articulateurs. Les cavités de résonances sont la cavité pharyngale, la cavité nasale et la cavité buccale. Le pharynx peut être articulateur dans certaines langues. La configuration des organes articutoires donne une forme et un volume au conduit vocal. Les lèvres, la langue, la mandibule, le voile du palais et le pharynx sont des articulateurs mobiles, les dents, les alvéoles, le palais dur et le maxillaire sont des articulateurs immobiles sur lesquels ou auprès desquels les articulateurs mobiles s'appuient ou se rapprochent. La langue se divise en trois régions : la pointe ou apex, le dos et la racine qui peuvent réaliser des mouvements de façon indépendante.

Chapitre I  
La production des consonnes occlusives

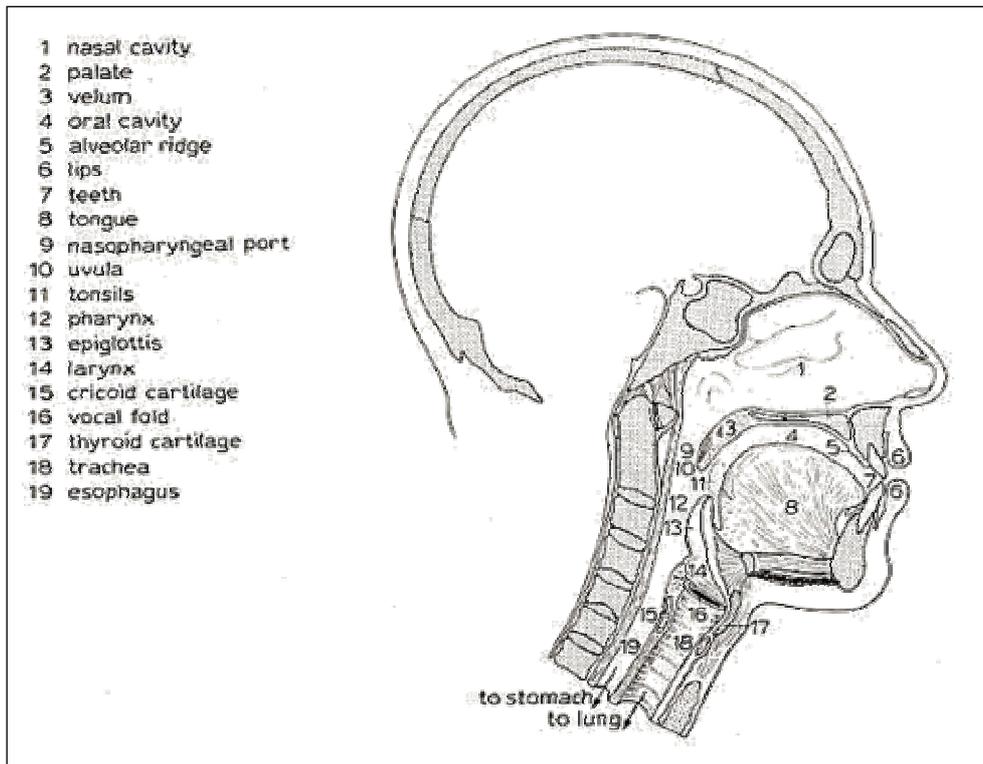


Figure 3 : Le tractus vocal, d'après Levelt 1989, p 428

Chaque langue possède son propre système phonétique qui gouverne l'existence des sons dans les langues. C'est en fonction d'une part des contraintes physiologiques imposées par l'appareil vocal et en fonction d'autre part du système phonétique de la langue que les mouvements articulatoires de la parole vont être engagés. On oublie souvent que l'appareil vocal n'est pas biologiquement destiné en priorité à l'activité de production de la parole ; sa fonction principale étant d'assurer la respiration et la nutrition. En effet, les poumons sont l'appareil respiratoire, le larynx a un rôle de contrôle des fonctions respiratoires et au niveau des structures supraglottiques s'opèrent la mastication et la déglutition des aliments.

## **II. La description articulatoire des consonnes occlusives orales bilabiales /p/ et /b/ du français**

En français standard les occlusives ne sont généralement pas aspirées ni affriquées. Nous ne tiendrons pas compte des variations régionales afin de ne pas nous disperser.

La description articulatoire de la parole s'intéresse aux mouvements de la structure anatomique et physiologique du système phonatoire de l'homme permettant l'articulation des sons de la parole. Nous observerons cet aspect descriptif des occlusives produites en contexte de parole normale (en opposition à la parole pathologique).

### **II.1. Le lieu et le mode articulatoire**

De nombreux phonéticiens proposent la description des mouvements articulatoires mis en jeu lors de la production des occlusives. D'après Ladefoged (2001) nous pouvons résumer brièvement les faits de la façon suivante. Les consonnes sont produites avec un flux d'air égressif (sauf les implosives et les clicks) qui rencontre une obstruction quelque part dans le tractus vocal. Les consonnes peuvent être classées selon le mode et le lieu de l'obstruction. Cette obstruction est occlusive pour les plosives et elle est constrictive pour les fricatives. Les termes « occlusive » et « constrictive » décrivent ces consonnes d'un point de vue articulatoire et les termes « plosive » et « fricative » décrivent ces consonnes d'un point de vue perceptif. L'occlusive est momentanée car produite grâce à une occlusion en un point du tractus vocal dont le relâchement crée le bruit d'explosion de la consonne. La constrictive est continue car produite grâce à un resserrement en un point du tractus vocal qui génère le bruit de friction au passage du flux d'air durant le maintien de ce point de constriction. Il existe d'autres modes articulatoires, les consonnes peuvent être approximantes, latérales, battues, roulées ou affriquées. D'autre part, les occlusives peuvent être orales ou nasales selon la position du palais mou ou vélu. Le lieu d'articulation est l'endroit précis où se réalise l'occlusion ou la constriction, c'est-à-dire où les organes mobiles se rapprochent ou s'appuient sur les organes fixes. Les termes utilisés donnent deux informations ; c'est-à-dire la zone de la partie supérieure du tractus vocal ainsi que l'articulateur de la partie inférieure du tractus vocal impliqués dans la production de la consonne. Chaque langue « sélectionne » certains points d'articulation et certaines combinaisons d'un lieu et d'un mode articulatoire. Shadle 1997 donne une description détaillée de la production des occlusives anglaises en contexte de parole normale. Elle remarque que les consonnes occlusives sont intrinsèquement éphémères et qu'elles sont réalisées avec une fermeture complète localisée quelque part entre les cordes

vocales et les lèvres. En français les occlusives sont bilabiales, apico-dentales, médio-palatales ou dorso-vélaires. Les constrictives et les sonnantes sont labiodentales, apico-alvéolaires, prédorso-alvéolaires, prédorso-prépalatales ou dorso-uvulaires. L'étude de Dart 1998, compare la production des consonnes coronales /t, d, n, l, s, z/ en français et en anglais qui sont décrites comme ayant le même lieu d'articulation quelle que soit la langue. L'auteur utilise la palatographie et la linguographie auprès de 21 français et 20 anglo-américains. Les résultats montrent que selon la langue, ces consonnes ne sont pas articulées au même lieu d'articulation ni avec la même constriction au niveau de la langue. Par exemple, les consonnes /t, d, n/ sont produites selon un lieu d'articulation plus dental et apicolaminaire en français et plus alvéolaire et apical en anglais. D'autres études sur le français québécois (Charbonneau & Jacques 1972, Marchal 1980) décrivent les phénomènes d'affrication qui se mettent en place pour la prononciation du /t/ et du /d/.

## **II.2. Les mouvements articulatoires**

Nous pouvons aisément décrire les mouvements articulatoires qui s'effectuent afin de produire les différentes occlusives orales du français /p, t, k, b, d, g/. Les articulateurs réalisent une occlusion complète en point du tractus vocal qui est tenue pendant un bref instant, selon Shadle (1997) durant 100 ms maximum, puis relâchent brusquement le point d'occlusion. D'après l'abbé Rousselot 1901-1908, les lèvres jouent leur rôle essentiel dans les labiales ; rapprochées puis séparées brusquement, elles donnent les occlusives /p/ et /b/. Le point d'articulation est également bilabial pour l'occlusive nasale /m/. La grande mobilité des lèvres est le fait de nombreux muscles qui convergent autour de l'orifice buccal et qui sont innervés par la 7<sup>e</sup> paire crânienne du nerf facial. Les muscles striés sont des muscles volontaires qui interviennent dans les phénomènes articulatoires. On distingue deux catégories de muscles labiaux : les constricteurs et les dilatateurs. Le muscle essentiel des lèvres est l'orbiculaire (orbicularis oris), il fait partie des muscles constricteurs. Ses fibres concentriques entourent l'orifice buccal. Il est composé de l'orbiculaire interne qui forme la partie la plus centrale du muscle et de l'orbiculaire externe constitué par les fibres intrinsèques et les fibres extrinsèques. Le compresseur des lèvres ou muscle de Klein est aussi un muscle constricteur et est très développé chez le nouveau-né à cause de l'activité de succion. Les muscles dilatateurs sont disposés sur deux couches musculaires. La couche musculaire profonde comporte le canin (levator anguli oris), le buccinateur (buccinator), les muscles de la houppe du menton (mentalis) et le carré du menton (quadratus labii inferioris ou depressor labii inferioris). La couche musculaire superficielle comporte le releveur superficiel

de l'aile du nez et de la lèvre (levator labii superioris alaeque nasi), le releveur profond (levator labii superioris), le petit zygomatique (zygomaticus minor), le grand zygomatique (zygomaticus major), le risorius ou muscle de Santorini, le triangulaire des lèvres (depressor anguli oris) et le peaucier du cou (platysma muscle).

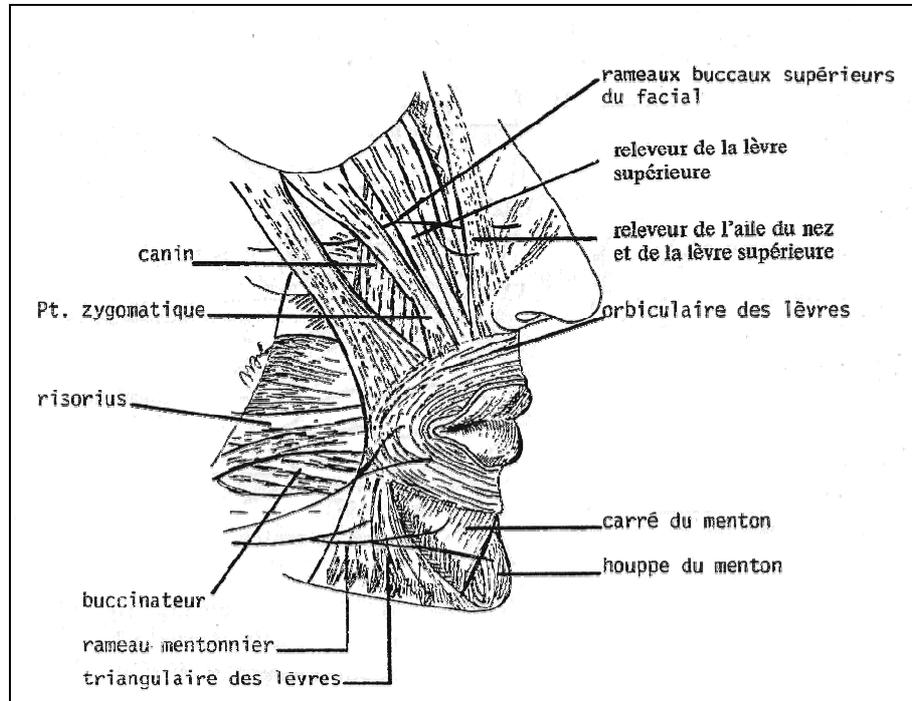


Figure 4: Vue latérale droite des muscles de la face, d'après Abry et al., 1980 p. 35

La forme, les dimensions et le développement de ces muscles sont variables et dépendent de l'âge, du sexe, de la dentition et des différences individuelles. Pour assurer le mouvement précis d'un organe, divers muscles travaillent ensemble. Un muscle peut être protagoniste, antagoniste ou synergique. Les muscles protagonistes sont les principaux responsables du mouvement. Les muscles antagonistes ont des actions opposées à l'action d'autres muscles. Ils peuvent être inhibés pendant l'action des protagonistes ou fonctionner en même temps que les protagonistes. Les muscles synergiques apportent leur aide aux protagonistes. On peut classifier les muscles labiaux selon leur fonction. Les muscles des lèvres ont des rôles déterminés bien qu'un même muscle puisse avoir plusieurs fonctions et qu'une même action puisse être accomplie par plusieurs muscles (Abry et al. 1980). Parmi les muscles assurant l'occlusion labiale, l'orbiculaire des lèvres accole les lèvres l'une contre l'autre. En se contractant fortement il les applique contre les dents ; il tire la lèvre supérieure vers le bas et la lèvre inférieure vers le haut. C'est surtout la partie interne de l'orbiculaire qui intervient dans la fermeture. Les faisceaux horizontaux se contractent afin de comprimer la lèvre supérieure contre son antagoniste et les muscles élévateurs du maxillaire inférieur peuvent

éventuellement contribuer à l'élévation de la lèvre inférieure. Lorsque la lèvre supérieure se déplace, la mâchoire est immobile, par contre il n'en est pas de même pour la lèvre inférieure dont le déplacement peut être pondéré ou accentué par celui du maxillaire inférieur. L'occlusion labiale peut également être assistée par le canin, qui peut élever la lèvre inférieure et le triangulaire qui peut abaisser la lèvre supérieure. La force de compression des lèvres a été observée par Rousselot à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle à l'aide d'ampoules de caoutchouc placées au lieu d'articulation qui constate que les occlusives non voisées non aspirées ont une force de compression plus forte que les voisées. Les observations radiocinématographiques de Simon 1961, 1967 citée par Fisher-Jørgensen 1972 montrent que la force de compression des lèvres est plus importante pour /p/ que pour /b/ et que pendant la production de /p, t, k/ l'étendue et la fermeté de contact sont plus grandes et l'angle des maxillaires est plus petit que pendant la production de /b, d, g/.

### **II.3. Les différentes phases articulatoires**

Selon Simon 1967, les sons du langage se décomposent en trois parties articulatoires. La première phase, appelée catastase (Grammont 1933 cité par Simon 1967) et désignée par les termes de tension ou d'implosion, constitue la mise en position des organes qui, sous l'effet de contractions musculaires, changent de position. La seconde phase, phase centrale ou tenue articulatoire est la phase pendant laquelle les organes resteraient en place maintenant leur position pendant un certain laps de temps. La troisième phase, appelée métastase (Grammont 1933 cité par Simon 1967) correspond à la phase de détente ou d'explosion au cours de laquelle les organes abandonnent leur position et passent à un autre état soit de relâchement soit de préparation à l'articulation suivante. Dans cette conception la phase de tenue est la phase essentielle de l'articulation. Pour les occlusives, la phase de tenue correspond au temps d'arrêt de l'écoulement de l'air phonateur dont on peut mesurer la durée et qui est visible sur les documents acoustiques. L'existence des tenues articulatoires a été contestée par Menzerath & Lacerda 1933 cités par Simon 1967 qui décrivent le langage tel un mouvement constant des organes de la parole. L'analyse des spectres acoustiques dont les variations sont quasi continues confirme cette théorie qui a été adoptée entre autres par Malmberg 1943 cité par Simon 1967. Afin d'observer la présence ou l'absence des tenues articulatoires, Simon 1967 utilise la radiocinématographie qui est le seul moyen de reconstituer les mouvements articulatoires. Elle utilise des radiofilms tournés à la vitesse de 50 images par seconde pour saisir les déplacements des organes toutes les 2 centisecondes. Les images sont analysées avec précision, elles sont superposées et comparées et des mesures de l'emplacement des organes

sont effectuées d'une image à l'autre. L'auteur décrit sa méthode d'analyse et de mesure des radiofilms en détail. L'étude est orientée essentiellement vers l'analyse des consonnes du français. Le locuteur est un homme de 43 ans francophone de souche parisienne, il a été enregistré et filmé en tâche de répétition de 17 phrases différentes. L'auteur remarque qu'à la date de cette étude aucun ouvrage sur les consonnes du français fondé sur l'examen radiographique n'était disponible et fait l'inventaire des clichés publiés de façon dispersée dans différents ouvrages ou revues. Chaque consonne du français est décrite en 3 à 8 images qui désigne chacune une position spécifique des organes articulatoires. Les consonnes sont prises dans leur contexte, ainsi par exemple pour la consonne /p/, 7 descriptions sont proposées, la 1<sup>o</sup> concerne /p/ intervocalique dans « il est capable » en 7 images qui permet de visualiser la tenue de l'occlusion sur 4 images. La 2<sup>o</sup> concerne /p/ explosif dans « de bonnes asperges » en 4 images avec une tenue de l'occlusion visible sur 3 images. La 3<sup>o</sup> concerne /p/ implusif dans « un bon captage » en 5 images dont 3 constituent la tenue de l'occlusion. La 4<sup>o</sup> concerne /p/ implusif dans « dans une capsule » en 4 images dont 3 pour la tenue de l'occlusion. La 5<sup>o</sup> concerne /p/ implusif dans « il est rapiat » en 5 images dont 3 pour la tenue de l'occlusion. La 6<sup>o</sup> concerne /p/ dans « ils sont poitevins » en 5 images dont 4 pour la tenue de l'occlusion. La 7<sup>o</sup> concerne /p/ dans « prends-le à cœur » en 4 images dont 3 constituent la tenue de l'occlusion. Pour l'occlusive /b/ 6 descriptions sont proposées, la 1<sup>o</sup> concerne le second /b/ intervocalique dans « voilà Babar » en 4 images dont 2 constituent la tenue de l'occlusion. La 2<sup>o</sup> concerne /b/ implusif dans « un son labial » en 4 images dont 2 pour la tenue de l'occlusion. La 3<sup>o</sup> concerne /b/ implusif dans « il est capable » en 4 images dont 2 pour la tenue de l'occlusion. La 4<sup>o</sup> concerne le premier /b/ intervocalique dans « voilà Babar » en 3 images dont 1 constitue la tenue de l'occlusion. La 5<sup>o</sup> concerne /b/ intervocalique dans « de bonnes asperges » en 4 images dont 3 pour la tenue de l'occlusion. La 6<sup>o</sup> concerne /b/ intervocalique dans « un bon captage » en 5 images dont 3 pour la tenue de l'occlusion. De cette façon, toutes les consonnes du français sont décrites selon différents contextes auxquels elles peuvent être confrontées. L'analyse des radiofilms permet de constater l'existence des tenues articulatoires dans la chaîne parlée qui sont réalisées également lorsque le débit de parole est rapide aussi bien pour les occlusives que pour les constrictives et que pour les voyelles. Pour chaque type de consonnes occlusives c'est le contact occlusif qui constitue l'élément constant caractéristique, cette occlusion se maintient sur plusieurs images successives. Pour les consonnes constrictives, les organes articulatoires maintiennent une position qui forme le passage le plus étroit au lieu d'articulation de la consonne et le diamètre de la constriction demeure constant sur plusieurs images successives. Pour les voyelles

aucune modification ne se produit dans la position de la partie de la langue responsable de l'aperture vocalique qui correspond à la voyelle en cours sur plusieurs images. L'auteur remarque qu'il n'y a pas d'arrêt du mouvement, en effet, les organes articulatoires qui n'interviennent pas directement dans la formation de l'occlusion ou de la constriction continuent de se mouvoir autour de la tenue du point d'articulation. Les résultats montrent que les durées de tenue des phonèmes sont en corrélation avec leur position dans la chaîne parlée. Les tenues articulatoires les plus brèves se présentent en position implosive, c'est-à-dire en finale de syllabe devant consonne et en position intervocalique inaccentuée. Les tenues articulatoires sont plus longues à l'initiale de groupe et en position intervocalique à l'initiale de la syllabe accentuée. En position finale la durée est également importante mais moins qu'en position explosive après consonne au début d'une syllabe accentuée. Les différentes durées de tenues articulatoires pour chaque consonne sont répertoriées dans un tableau, les consonnes étant réparties d'après leur mode articulatoire, en occlusives et constrictives, puis d'après leur lieu d'articulation. Pour la consonne occlusive bilabiale /p/ 13 réalisations sont décrites se répartissant dans différentes positions dans la chaîne parlée. Pour la consonne sonore correspondante /b/ 12 réalisations sont observées. Lorsque les consonnes sont étudiées par couple il apparaît que la durée de la sourde /p/ est pratiquement double par rapport à celle de la sonore /b/, sauf à l'initiale de groupe, la tenue de /b/ est aussi longue que celle de /p/. L'auteur remarque que la qualité de l'occlusion varie à l'intérieur de la tenue. Pour les occlusives bilabiales, deux types de modifications sont rapportées ; 1) un étalement progressif du contact bilabial vers l'arrière, en direction des incisives, 2) un élargissement bilatéral du contact labial vers l'avant et vers l'arrière. Le relâchement du contact bilabial se fait aussi de différentes manières ; 1) il commence par un détachement des lèvres du côté des incisives puis vient la rupture de l'occlusion, 2) il commence par un détachement du côté extérieur puis vient la rupture complète de l'occlusion, 3) il se fait par une rupture totale brusque de tout le contact. Pour résumer, la tenue articulatoire d'une même consonne se modifie selon son entourage dans le mot et dans la chaîne parlée, elle subit une modification d'aperture sur le plan vertical et une modification de lieu d'articulation sur le plan horizontal ; ces modifications peuvent se combiner. Plus l'articulation voisine est différente quant à l'aperture ou le lieu d'articulation et plus la tenue consonantique subit son influence. La tenue consonantique se modifie surtout par anticipation. L'influence du contexte se combine avec celle de la position à l'intérieur de la syllabe et par rapport à l'accent, ces différentes influences peuvent se neutraliser. L'auteur remarque également que le facteur de l'importance du mot par rapport au sens de la phrase intervient ; en effet, des mots outils, tels que l'article

ou les prépositions peuvent être énoncés sans précision articulatoire. Toutefois, les modifications d'une tenue consonantique ne dépassent jamais les limites au-delà desquelles cette tenue se confondrait avec celle d'une autre consonne. L'auteur atteste l'existence de la tenue articulatoire qui est toujours réalisée sauf pour quelques cas particuliers et va à l'encontre de la théorie de Menzerath selon laquelle la parole serait une continuation ininterrompue de mouvements. Les résultats montrent que la durée des tenues est liée à la place de l'articulation dans la syllabe et aussi en fonction de la nature des articulations ; elle est plus longue pour les consonnes sourdes que pour les consonnes sonores correspondantes. La différence de durée est importante surtout pour les couples d'occlusives et moins pour les constrictives ; la durée de tenue de l'occlusive sourde peut être 2 fois plus longue que celle de l'occlusive sonore. L'auteur relève la difficulté que pose l'interprétation des variations de durée des tenues articulatoires dans la chaîne parlée. La durée est conditionnée par un ensemble complexe de phénomènes liés à la nature de la consonne, à sa place à l'intérieur de la syllabe et à sa place par rapport à l'accent. Les variations qualitatives de la tenue articulatoire dépendent également de plusieurs facteurs notamment la nature de l'articulation ; la contraction musculaire est plus énergique et la tension organique plus forte pendant la réalisation des tenues des consonnes sourdes que pour les consonnes correspondantes sonores. Au cours de la production des occlusives sourdes le contact occlusif montre un raffermissement et un élargissement. La qualité de la tenue articulatoire est également liée à la place de l'articulation dans le groupe ; elle est ferme en position forte, c'est-à-dire à l'initiale de groupe, en position explosive et en intervocalique accentuée, elle l'est moins en position intervocalique inaccentuée et en position finale, et elle est la plus faible en position implosive. Les cas de relâchement articulatoire ont été relevés auprès de consonnes en position intervocalique inaccentuée et en position implosive. Pour les occlusives, des modifications de la qualité de l'occlusion ont été observées à l'intérieur de la tenue ; l'occlusion peut se déplacer sans se relâcher. Pour les occlusives bilabiale, le contact bilabial peut s'étaler vers l'intérieur ou l'élargissement de l'occlusion peut se faire dans les deux sens, c'est-à-dire en avant et en arrière du contact initial. Les tenues sont influencées aussi qualitativement par le contexte qui agit en déplaçant le lieu d'articulation et en modifiant la qualité du contact occlusif ou du diamètre de rapprochement pour les constrictives, le phénomène d'anticipation étant fréquent.

## II.4. Le mode phonatoire

Le mode phonatoire désigne la position des cordes vocales, lorsqu'elles sont en adduction elles permettent la production de voix, lorsqu'elles sont écartées le son produit est non voisé. Mais la glotte peut prendre d'autres configurations qui peuvent avoir une valeur distinctive ou pas selon les langues ou être des manifestations pathologiques. En français les cordes vocales sont soit en adduction soit en abduction ; le mode phonatoire est voisé ou non voisé. Des positions intermédiaires sont adoptées par les cordes vocales dans les cas par exemple de « Breathy voice » ou « murmur » qui correspond au chuchotement et de « creaky voice » ou « laryngealized » qui correspond à la voix cassée, ces deux modes phonatoires ne sont pas distinctifs en français. D'après Laver 1994, « murmur » est le terme qu'emploie Ladefoged pour « whispery voice » il s'agit du murmure qui est utilisé en français et dans de nombreuses cultures pour faire des confidences, c'est-à-dire parler à voix basse. Cependant, ce mode phonatoire a une valeur contrastive dans des langues de familles différentes telles que Hindi, Sindhi, Marathi, Bengali, Assamese, Gujarati ; Bihari, Shona, Tsonga, Ndebele, Zulu (Ladefoged 1971 cité par Laver 1994). Pour le « whispery voice » le flux d'air est turbulent et plus intense que pour le « breathy voice », l'aire de la glotte est réduite et forme un triangle. Selon Catford 1977 cité par Laver 1994 une phonation sans voisement « breath phonation » s'opère la glotte en abduction avec un flux d'air turbulent et audible pour la production de certaines voyelles dans des langues amérindiennes telles que Comanche et Cheyenne. La figure 5 récapitule les différents types de phonation et les possibilités de combinaison.

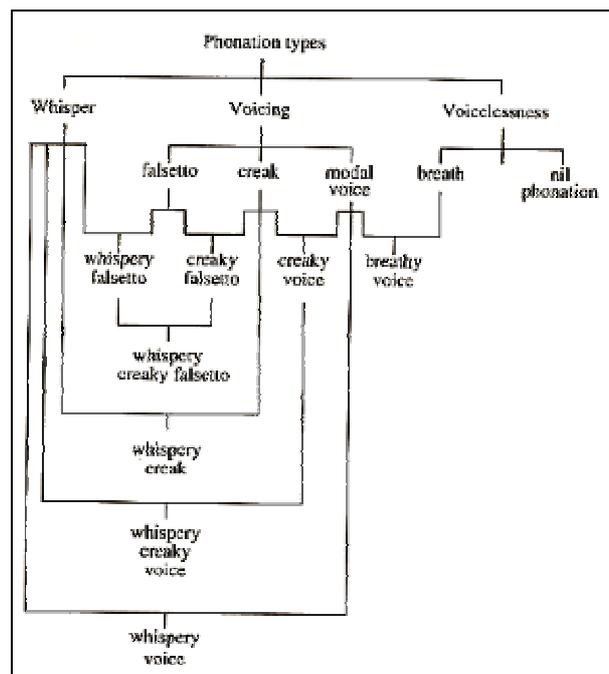


Figure 5 : Les différents modes de phonation d'après Laver 1994, p. 199

L'étude de Abdelli-Beruh 2004 observe l'opposition de voisement des occlusives en français. Dans l'introduction de son article, l'auteur relate de nombreux travaux ayant observé l'opposition de voisement (Umeda 1977, Luce & Charles-Luce 1985, Miller & Volaitis 1989, Laeuffer 1992, 1996 cités par Abdelli-Beruh 2004) qui montrent qu'elle varie selon les langues et à l'intérieur de chaque langue selon différents paramètres tels que la position de l'occlusive dans le mot, le contexte phonétique, le débit et le style de parole. Le français et l'anglais diffèrent dans la manière d'instaurer la distinction phonologique de voisement (voir § II. 6.).

### **II.5. L'effet de coarticulation : la variabilité attestée**

Selon Duez 2001, les locuteurs employant un style informel de parole tel que la conversation, parlent rapidement et de façon hypoarticulée en diminuant la durée et l'amplitude des gestes phonétiques. Au niveau acoustique l'hypoarticulation est reflétée par une réduction importante et une dépendance vis à vis du contexte des segments de parole. Les segments sont souvent réduits, altérés, omis ou combinés avec d'autres segments si l'on compare les mêmes mots en situation de parole spontanée et de parole lue. L'auteur cite Lindblom 1990 qui remarque que l'hypoarticulation est régie par la nécessité du locuteur à produire un signal de parole possédant suffisamment de pouvoir discriminant afin de permettre la reconnaissance du mot et la communication. Les occlusives voisées présentent deux tendances ; 1) le /b/ et le /d/ se nasalisent en contexte vocalique nasal, c'est-à-dire en présence d'une voyelle nasale qui précède et/ou qui suit. Le geste articulatoire du velum est partiellement ou totalement en chevauchement avec le geste de fermeture du conduit buccal, 2) le /b/ s'affaiblie en fricative approximante /β/, en semi-voyelle /w/, et en approximante labiale et le /d/ s'affaiblie en fricative /z/, en sonorante /l/, ou en approximante dentale ou s'efface totalement. Ces transformations résultent d'une réduction dans l'amplitude du geste d'occlusion. La déletion des consonnes correspond à la complète annulation du geste d'occlusion. Les consonnes assimilées ou réduites tendent à garder leur lieu d'articulation, suggérant que le lieu d'articulation est un élément invariant des consonnes. Duez 1995 observe les phénomènes de réduction et d'assimilation que présentent les occlusives voisées du français /b, d, g/ en contexte de production spontanée. Les enregistrements de 2 locuteurs francophones en conversation semi-dirigée sont transcrits phonétiquement par 2 phonéticiens confirmés. 361 et 372 stimuli composés de séquences VICV2 sont extraits des deux enregistrements que 25 auditeurs naïfs doivent identifier. Les résultats montrent que soit les consonnes cibles sont reconnues par plus de 50 % des auditeurs (au minimum 13 auditeurs), soit les consonnes cibles ne sont pas identifiées. Dans ce dernier cas il y a 4 schémas de réponse : 1) la consonne

est identifiée comme une autre consonne par au minimum 13 auditeurs, 2) la majorité identifie une caractéristique donnée, 3) aucune consonne ni aucune caractéristique n'est reconnue par la majorité et la consonne reste non identifiée, 4) la consonne est omise par la majorité. Pour le premier locuteur, 72,4 % des /b/ sont identifiés comme des /b/, 81,2 % des /d/ sont identifiés comme des /d/, et 84,4 % des /g/ sont identifiés comme des /g/. Pour le second locuteur, 80 % des /b/ sont identifiés comme des /b/, 87,4 % des /d/ sont identifiés comme des /d/, et 91,1 % des /g/ sont identifiés comme des /g/. Des erreurs de production et des erreurs de perception sont présentes. La classe de mot n'a pas d'effet significatif sur l'identification des consonnes et la longueur du mot non plus. La proéminence prosodique a un effet significatif sur l'identification des consonnes pour les 2 locuteurs. L'analyse spectrographique montre que les occurrences de /b/ sans la barre d'explosion sont plus nombreuses que celles avec la barre d'explosion. Par contre, pour /d/ et /g/ la tendance est inversée. D'autre part, la durée moyenne de l'occlusion pour /d/ et /g/ est plus courte en l'absence de la barre d'explosion qu'en présence de la barre d'explosion mais la différence n'est pas significative. Les occlusives voisées tendent à être partiellement affriquées, spécialement devant une voyelle antérieure. Par exemple, pour le second locuteur le /d/ devant un /i/ est une occlusive qui devient fricative dans sa partie finale et le /i/ est partiellement dévoisée. En résumé, hors contexte, les auditeurs sont capables d'identifier les occlusives voisées en position intervocalique dans 80 % des cas, ce pourcentage correspond au niveau minimum d'intelligibilité selon l'American National Standard Methods for the Calculation of the Articulation Index, 1979 cité par Duez 1995. Cette constatation confirme le rôle crucial du contexte dans l'étape de décodage de la parole et, selon les travaux de Saerens et al. 1989 cités par Duez 1995 dans l'identification des occlusives du français en contexte de parole spontanée. Les données perceptives et acoustiques montrent des cas d'occlusives qui correspondent à des fricatives ou à des approximantes. Ces changements peuvent être le résultat d'une diminution de l'amplitude des mouvements articulatoires cependant le lieu d'articulation tend à être maintenu lorsque les consonnes sont assimilées ou réduites. Ce n'est pas le cas pour l'anglais qui présente des lieux d'articulation confus (Miller & Nicely 1955 cités par Duez 1995). En production de parole spontanée, les gestes articulatoires peuvent être incomplètement articulés ou mal synchronisés mais le lieu d'articulation des consonnes semble être invariant. Les variations phonétiques sont limitées par la nécessité de préserver le système linguistique (Passy 1890 cité par Duez 1995). Selon Martinet 1955 cité par Duez 1995 chaque phonème a un centre de gravité qui correspond à un optimum et chaque phonème varie avec une zone de dispersion. Chaque locuteur a sa zone de variation, mais les

consonnes sont affectées par le contexte de façon prévisible. L'étude de Saerens et al. 1989 observe la perception des occlusives voisées du français spontané ; l'enregistrement de 3 locuteurs francophones belges en situation de conversation informelle permet de constituer un corpus. Les résultats montrent que la présence versus l'absence d'une interruption des vibrations laryngées est un critère efficace pour distinguer les occlusives voisées et les non-voisées. Selon Serniclaes 1984 cité par Saerens et al. 1989, pour les occlusives non-voisées lorsque l'intervalle silencieux (SI) entre l'arrêt du voisement et le relâchement de l'occlusion est de durée réduite, le VOT\* tend à être de durée plus longue et ce rééquilibre permet de maintenir une durée de l'intervalle non voisé.

## II.6. Les différences entre les occlusives du français et celles de l'anglais

La caractéristique acoustique qui accompagne le voisement en français comme dans la plupart des langues du monde est la présence de vibration des cordes vocales (Lisker & Abramson 1964 cités par Snoeren et al. In press). En anglais /b, d, g/ sont réalisées de façon dévoisée et /p, t, k/ sont aspirées (Lisker & Abramson 1964 cités par Abdelli-Beruh 2004). En français /b, d, g/ sont produites à 94 % de façon voisée et /p, t, k/ présentent un VOT de courte durée (Caramazza & Yeni-Komshian 1974 cités par Abdelli-Beruh 2004). De plus, la différence de durée des occlusives due au voisement est plus importante en français qu'en anglais. Le français donne beaucoup d'importance à l'occlusion ; les occlusives du français sont complètement relâchées et s'accompagnent d'un bruit d'explosion dans sa partie finale (Delattre 1951, Fischer- Jørgensen 1972, Kohler 1979 cités par Abdelli-Beruh 2004). En anglais l'opposition de voisement est en grande partie déterminée par la durée relative de la voyelle qui suit et la partie finale de l'occlusive est partiellement dévoisée (Flege & Brown 1982 cités par Abdelli-Beruh 2004) et non relâchée (Rositzke 1943 cité par Abdelli-Beruh 2004). Cependant, en français, les transitions formantiques, l'intensité de l'explosion, la valeur de la Fo en début de voisement, ainsi que la durée de la voyelle qui précède sont des propriétés acoustiques qui contribuent à la distinction de voisement (Duez 1995, O'Shaugnessy 1981, Saerens et al. 1989, Wajskop 1979 cités par Snoeren et al In press). La description de Fujimura & Erickson 1997 insiste sur le fait qu'une occlusive non voisée de l'anglais montre généralement un segment de bruit de turbulence juste après le bruit

---

\* En contexte de syllabe CV, le temps d'intervalle entre le relâchement articulaire de l'occlusive et le début du voisement de la voyelle qui suit est appelé Voice Onset Time ou VOT (Lisker & Abramson 1964 cités par Fujimura & Erickson 1997). Cet intervalle est composé du spike (le son produit par la séparation des articulateurs du point d'occlusion), de la friction après le spike et de l'aspiration qui suit lorsqu'elle a lieu.

d'explosion qui représente une courte friction au moment du relâchement articulaire. Ce type de bruit de friction est appelé aspiration et est le même phénomène que le [h]. L'aspiration est caractéristique de l'occlusive non voisée de l'anglais, elle fait partie du VOT lorsqu'elle a lieu. Certaines langues utilisent l'aspiration distinctivement avec des phonèmes voisés et des phonèmes non voisés. Certaines occlusives non voisées de l'anglais sont aspirées, l'aspiration si elle a lieu apparaît environ 50 ms avant le début du voisement de la voyelle qui suit mais elle dépend du lieu d'articulation de l'occlusive. Le VOT est de plus longue durée si l'aspiration a lieu. La durée du VOT est relative au temps que les cordes vocales prennent pour se mettre en adduction afin de vibrer (Catford 1977 cité par Shadle 1997).

### **III. La description acoustique des consonnes occlusives orales bilabiales /p/ et /b/ du français**

La description acoustique de la parole s'intéresse à l'évolution de l'onde sonore générée par les variations de pression de l'air dues à l'activité des organes articulatoires pendant la production des sons de la parole.

#### **III.1. L'occlusive non voisée**

Lorsqu'elle est suivie d'une voyelle, l'occlusive non voisée se caractérise par la succession des évènements suivants: un silence momentané dû à l'occlusion, une barre d'explosion (spike), un bruit de friction provenant du lieu de la constriction, un bruit d'écoulement glottal, la reprise de la vibration des cordes vocales afin de produire la voyelle qui suit. Le voisement apparaît avec un certain retard par rapport à l'explosion ; le Voice Onset Time (VOT) qui oscille entre 10 et 30 ms pour le français (Abdelli-Beruh 2004). Le VOT joue un rôle essentiel dans la distinction du voisement dans de nombreuses langues.

#### **III.2. L'occlusive voisée**

Pour l'occlusive voisée, les évènements sont identiques à ceux observés pour l'occlusive non voisée mais une vibration des cordes vocales est effective pendant l'occlusion qui devient un « silence voisé ». Le voisement a pour conséquences l'atténuation des bruits d'explosion et de friction et la disparition du bruit d'écoulement glottal caractéristique des occlusives sourdes. Le Vot est négatif lorsqu'il y a voisement pendant la tenue de l'occlusion comme c'est le cas pour les occlusives voisées du français.

#### **IV. La description aérodynamique des consonnes occlusives orales bilabiales /p/ et /b/ du français**

La description aérodynamique de la parole s'intéresse aux mécanismes de circulation des flux d'air dans le corps humain pendant la production des sons de la parole. Schématiquement, les occlusives bilabiales sont produites par une occlusion au niveau des lèvres derrière laquelle la pression intra-orale augmente. Au relâchement des lèvres le débit d'air buccal crée le bruit d'explosion pour l'occlusive voisée /b/ et la non voisée /p/. Nous devons prendre en compte la complexité de la dynamique qui permet de produire les occlusives bilabiales du français.

##### **IV.1. La circulation de l'air pendant la production de parole**

Ohala (1975, 1976) a mené de nombreux travaux afin de décrire l'aérodynamique de la parole. Ohala (1990) part du fait que le mécanisme de production de la parole peut être vu comme un dispositif qui converti l'énergie musculaire en énergie acoustique. La différence de pression entre la pression à l'intérieur du tractus vocal et la pression atmosphérique crée des mouvements rapides de l'air ou turbulences à l'origine des sons de la parole. La parole est générée par l'intervention des articulateurs qui agissent sur les variations de pression engagées par la respiration. La parole est exclusivement produite sur la phase expiratoire de la respiration. En activité de parole la durée de la phase expiratoire est plus longue qu'en activité de respiration normale. Il est nécessaire de prendre en compte les deux remarques suivantes, bien que la production des occlusives du français ne soit pas concernée. Premièrement, certaines langues n'utilisent pas les mécanismes de respiration pour produire des sons glottiques et vélares tels que clics, éjectives et implosives mais la langue et/ou le larynx qui agissent comme une sorte de piston (Catford 1939, Ladefoged 1962 cités par Ohala 1990). Deuxièmement, la parole peut être produite sur un flux d'air égressif, de façon plus ou moins occasionnelle, c'est le cas entre autres pour les interjections dans différentes cultures (Zemlin 1968, Luchsinger & Arnold 1965, Hixon 1973, Di Christo 1975, Catford 1977 cités par Ohala 1990). La respiration « importe » de l'oxygène à l'intérieur des poumons et en « exporte » du dioxyde de carbone. Cette opération s'effectue grâce à une variation de volume et donc de pression dans et autour des poumons par les forces musculaires et les forces élastiques passives de la cavité thoracique. Les muscles intercostaux internes et externes ainsi que le diaphragme sont les premiers sollicités, mais en réalité une douzaine de muscles peuvent intervenir au cours de la respiration. Les poumons ainsi que les cavités thoracique et abdominale présentent une élasticité naturelle qui leur permet de retrouver leur configuration

lorsque les muscles cessent leur activité. L'inspiration se réalise grâce à un appel d'air à l'intérieur des poumons par la contraction des muscles intercostaux externes qui entraîne un agrandissement de la cage thoracique et donc un différentiel de pression avec une pression à l'intérieur des poumons inférieure à la pression atmosphérique. Lors de l'expiration, la pression pulmonaire est supérieure à la pression atmosphérique et le flux d'air se dirige alors vers l'extérieur. Pendant l'activité de parole, les muscles intercostaux internes freinent l'expiration en agissant sur le volume des poumons. L'intensité de la parole est directement corrélée à la pression sous-glottique (Ladefoged & McKinney 1963, Allen 1971 cités par Ohala 1990). Ainsi, pendant l'activité de parole, la pression sous-glottique est maintenue de façon relativement constante afin d'assurer la stabilité de l'intensité de la parole. Weismer 1985 cité par Ohala 1990, oppose deux descriptions de l'activité respiratoire durant la production de parole qui se distinguent par le rôle qu'elles donnent, l'une à la cage thoracique et l'autre au système abdominal, dans le maintien de cette pression sous-glottique constante. Les principales variables respiratoires sont le débit et la pression. Le débit dépend du différentiel de pression entre les poumons et l'atmosphère ainsi que de la résistance occasionnée par l'aire de l'aperture. La pression dépend inversement du volume de la cavité et directement de la masse d'air à l'intérieur de la cavité. Le modèle de Rothenberg 1968 est l'un des plus importants travaux en aérodynamique de la parole. Son modèle prend en considération l'élasticité naturelle des poumons, la compressibilité de l'air dans le conduit et les mouvements musculaires qui provoquent différentes résistances au flux d'air. Le modèle est composé de 3 compartiments qui communiquent entre eux par des zones de rétrécissements. Le premier compartiment contient la pression sous-glottique ou subglottique ( $P_s$ ), en dessous des cordes vocales. Ce compartiment représente le volume composé par les poumons et la trachée artère. Le second compartiment contient la pression supraglottique, au-dessus des cordes vocales ( $P_o$ ). Ce compartiment représente le volume composé par une certaine configuration des cavités buccale, nasale et pharyngale. Le troisième compartiment est un espace ouvert qui représente la pression atmosphérique  $P_a$ . Entre la  $P_s$  et la  $P_o$ , la résistance glottique ( $R_g$ ) contrôle le débit d'air. Entre la  $P_o$  et la  $P_a$ , la résistance articulaire ( $R_a$ ) au point d'occlusion contrôle le débit d'air. Plus l'aire de la zone de rétrécissement est petite, plus la résistance est grande et plus le débit est réduit. La  $P_s$  dépend de la détente élastique des poumons ainsi que des forces générées par la contraction des muscles respiratoires. Pour la production d'une occlusive non voisée, la  $P_o$  et la  $P_s$  s'égalisent après la réalisation du point d'occlusion et ne forment qu'une seule pression qui reste inférieure à la pression atmosphérique jusqu'au relâchement du point d'occlusion. Pour la production d'une

occlusive voisée, les deux pressions doivent maintenir un différentiel de pression. Ce différentiel de pression permet le flux d'air égressif transglottique nécessaire au voisement, il est maintenu grâce à une manœuvre articulaire d'élargissement de la cavité supraglottique (voir § suivant). Si la cavité supraglottique s'agrandit la  $P_o$  diminue et l'appel d'air reste effectif. La vitesse à laquelle ce changement de volume s'opère est primordiale pour le bon fonctionnement de ce phénomène. Les occlusives non voisées ont généralement un plus grand pic de  $P_o$  que les occlusives voisées.

#### **IV.2. Les contraintes physiologiques**

Comme nous l'avons déjà remarqué, la production de parole n'est pas « la raison d'être » de l'appareil vocal, ainsi nous pouvons repérer certaines contraintes physiques qui rendent difficiles la production de certains sons de parole. C'est le cas pour l'occlusive voisée dont les difficultés de production sont décrites par Ohala (1983) et Westbury (1983). Pour résumer, la production de /p/ s'opère avec les cordes vocales écartées, l'occlusion buccale entraîne une augmentation de la pression intra-orale ( $P_{io}$ ) qui chute brutalement lors du relâchement de l'occlusion. La reprise de la vibration laryngée permet de produire la voyelle qui suit. Pour la production de /b/, les cordes vocales sont en adduction. La  $P_{io}$  augmente derrière le point d'occlusion buccal, les vibrations laryngées perdurent alors que le conduit vocal est fermé. Pour maintenir cette vibration il est nécessaire de maintenir un différentiel de pression entre la pression sous-glottique et la  $P_{io}$ . L'incompatibilité de l'occlusion et du voisement est flagrante et pourtant, de nombreuses langues comportent cette opposition de voisement occlusif. Ohala (1983) ainsi que Westbury (1983) décrivent la stratégie de compensation mise en œuvre lors de la production des occlusives voisées. Il s'agit d'une intervention de la part des articulateurs et du larynx qui vont élargir le volume de la cavité supraglottique afin de diminuer la  $P_{io}$  et d'entretenir le différentiel de pressions entre la pression sous-glottique et la pression supra-glottique. Ainsi, la langue s'abaisse, le larynx descend et le voile du palais remonte. Cette expansion volumétrique de la cavité supraglottique est donc active pour la production des occlusives voisées (Bell-Berty & Hirose 1973, Westbury 1979 cités par Müller & Brown 1980). Les contraintes articulaires ont un effet sur la durée de l'occlusive voisée qui est plus courte que celle de l'occlusive non voisée. Ohala & Riordan 1979 cités par Ohala 1983 remarquent que le /b/ est de plus longue durée lorsqu'il est produit en contexte vocalique /i/ qu'avec d'autres voyelles. En effet, selon Smith 1977 cité par Ohala 1983 les voyelles hautes [i, u] sont produites avec un grand élargissement de la cavité pharyngale qui est une conséquence de la position haute et antérieure de la langue dans la cavité buccale.

L'anticipation de la voyelle haute met en œuvre l'expansion de la cavité buccale de façon plus prononcée dès la production de l'occlusive et permet au voisement une plus longue durée. D'autre part, le /b/ est de plus longue durée que le /d/ qui est de plus longue durée que le /g/ (Ohala & Riordan 1979 cités par Ohala 1983). En effet, plus le point d'articulation de l'occlusive est antérieur, plus la cavité buccale est large et plus la pression supra-glottique augmente lentement.

#### **IV.3. L'occlusive non voisée**

Pour une occlusive non voisée, deux pressions entrent en concurrence ; la pression à l'intérieur du corps et la pression atmosphérique, la pression intrapulmonaire et la pression intra-orale ne font qu'une. La pression en amont de l'occlusion augmente rapidement pendant un court instant puis continue à augmenter plus lentement afin d'atteindre un plateau. Le cou et les joues se détendent entraînant une légère réduction de la pression de l'air à l'intérieur du corps. Lorsque l'occlusion se relâche, le flux d'air s'engouffre soudainement hors de la cavité buccale, le volume pulmonaire commence à décroître plus rapidement. Le relâchement produit le bruit d'explosion et il s'ensuit un bruit de friction pendant un court instant de 5 ms au minimum (Shadle 1997). La fente glottique est large pendant la réalisation de l'occlusive non voisée, autrement dit les cordes vocales sont ouvertes.

#### **IV.4. L'occlusive voisée**

Pour une occlusive voisée, le voisement se superpose à l'occlusion et les événements sont plus complexes que pour ceux de l'occlusive non voisée. Trois pressions tentent de se stabiliser ; la pression sous-glottique ou pression intrapulmonaire, la pression supra-glottique ou intra-orale et la pression atmosphérique. La pression sous-glottique augmente jusqu'à 200 Pa (Shadle 1997) et un différentiel de pression entre la pression sous-glottique et la pression supra-glottique doit être maintenu afin de permettre le voisement. La pression qui arrive derrière le point d'occlusion ne peut pas être aussi importante que celle pour l'occlusive non voisée. L'expansion passive apparaît lorsque les tissus du cou et des joues se gonflent légèrement. Nous pouvons contrôler le degré d'expansion en contractant ou en relâchant nos muscles du cou ; les tissus relâchés se gonflent plus facilement. L'expansion active apparaît avec le mouvement des articulateurs : le larynx tend à descendre, le palais mou remonte, et le dos ainsi que la lame de la langue descendent d'avantage pendant la réalisation d'une occlusive voisée que pendant la réalisation d'une occlusive non voisée. Comme nous l'avons déjà expliqué, ces deux types d'expansion du volume buccal ont pour conséquence de faire

baïsser la pression dans le tractus vocal et de conserver un différentiel de pression. Selon Shadle 1997, sans de tels phénomènes, le voisement peut théoriquement continuer pendant encore 60 ms après l'occlusion. Avec ces ressources, l'occlusive voisée peut s'étendre théoriquement pendant 200 ms et plus, en pratique des intervalles voisés de plus de 100 ms sont assez fréquents. Cependant, l'occlusive voisée est toujours de plus courte durée que l'occlusive non voisée.

#### IV.5. Les différentes phases aérodynamiques

Müller & Brown 1980, mettent en relation les mouvements articutoires et les évènements observables sur la courbe de pression supraglottique (ou intra-orale). Ils prennent en compte le fait que certains gestes articutoires ont plus de répercussions que d'autres sur les données aérodynamiques et en font la description. Les auteurs observent 5 hommes anglophones (anglais américain) auxquels ils proposent une tâche de répétition des dissyllabes VCV [apa, aba, ata, ada, ipi, ibi, iti, idi] 6 fois chacune, séparées entre elles par une respiration, selon un rythme confortable. Les données aérodynamiques de pression intra-orale et de débit d'air buccal sont utilisées afin de déterminer 3 phases pendant la production de l'occlusive.

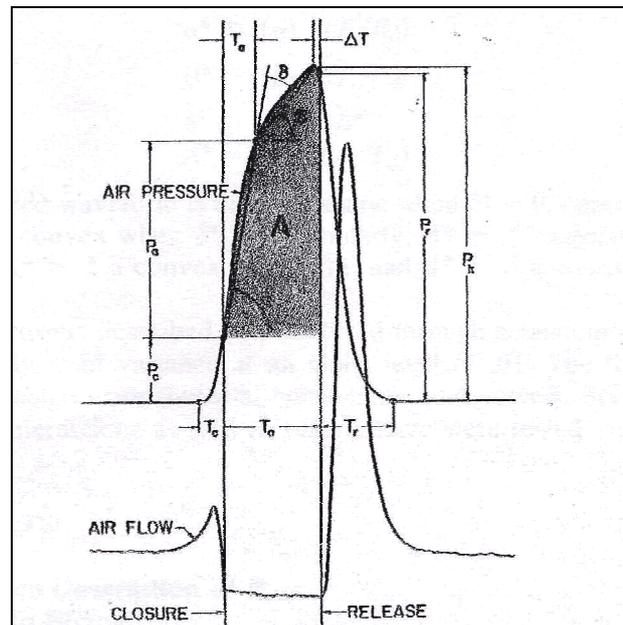


Figure 6: Courbes de  $P_{io}$  et de  $D_{ab}$  pendant la production de /p/, d'après Müller & Brown 1980, p. 335

La  $T_c$  est la durée de la phase pendant laquelle les articulateurs se mettent en position d'occlusion ou durée de la phase de fermeture. Elle débute au point où la courbe de la  $P_{io}$  quitte sa ligne de base pour amorcer une augmentation et elle s'arrête au moment où le  $D_{ab}$  atteint une valeur nulle. A cet instant, la  $T_o$  commence, elle est la durée de la phase de tenue de l'occlusion pendant laquelle le  $D_{ab}$  garde cette valeur nulle et la  $P_{io}$  continue d'augmenter

jusqu'à atteindre sa valeur maximale. La *To* s'arrête au moment où le *Dab* quitte la valeur zéro pour augmenter très rapidement et la *Pio* quitte sa valeur maximale pour amorcer une diminution. La *Pio* pendant la *Tc* est observée pour toutes les occlusives du corpus et, grâce à une normalisation de la courbe de la *Pio*, le comportement général de sa forme est déterminé. Les résultats montrent que la courbe de la *Pio* peut prendre 5 formes différentes: convexe, concave, linéaire, bimodale, ou retardée. Les changements de direction peuvent être de deux types : continu ou discontinu. Les auteurs affirment qu'il n'y a pas d'occlusive ni de voyelle associée clairement à une forme particulière de courbe de *Pio* ou à un type de transition. Par contre, certaines tendances sont relevées ; les occlusives non voisées sont généralement caractérisées par une courbe de *Pio* convexe simple, en effet, 70 % des occlusives non voisées ont une courbe de *Pio* convexe. Les occlusives voisées sont généralement caractérisées par une courbe de *Pio* non convexe : 70 % des occlusives voisées ont une courbe de *Pio* non convexe. Le type de transition continue ou discontinue n'est pas en corrélation avec un type de consonne ni avec un type de contexte vocalique. 60 % des répétitions montrent des transitions de type continu et majoritairement en correspondance avec des courbes de forme convexe. 40 % des répétitions montrent des transitions de type discontinu majoritairement associé aux courbes de forme non convexe. Les occlusives non voisées sont plus affectées par le contexte vocalique que les voisées. Généralement le contexte vocalique n'affecte que les mesures temporelles. Les occlusives en présence de /a/ ont une durée plus courte des phases de fermeture et de relâchement que celles en contexte vocalique /i/. La durée de la phase de fermeture reflète la durée de transition entre la voyelle qui précède et l'occlusive. Les auteurs rapportent une *Tc* moyenne de 45 msec pour les occlusives en contexte vocalique /a/ et de 55 msec pour les occlusives en contexte vocalique /i/. Selon Kent & Moll 1969 cités par Müller & Brown 1980, la vitesse d'exécution est significativement plus rapide pour /a/ par rapport à /i/ parce que le geste d'ouverture est initié à partir d'une plus grande ouverture vocalique pour /a/ par rapport à /i/ qui favorise un phénomène de compensation articulatoire; l'augmentation de vitesse explique la diminution de la durée de la phase de fermeture. La durée de la phase de fermeture (50 msec en moyenne) n'est généralement pas affectée par le lieu d'articulation ni par le mode de phonation. Cependant, l'étude concerne des occlusives bilabiales et apico-alvéolaires, les données seraient certainement différentes concernant des occlusives vélares par exemple pour lesquelles les articulateurs actifs ne se déplacent pas à la même vitesse que pour les bilabiales. La durée de la phase de relâchement est significativement plus longue pour les occlusives non voisées (environ 150 ms) que pour les occlusives voisées (environ 80 ms). La durée de la phase de tenue de l'occlusion est en moyenne de 100 msec. Les résultats

montrent donc que la durée de la phase de fermeture et la durée de la phase de tenue de l'occlusion ne varient pas en fonction du mode phonatoire. Il faut rappeler que l'étude concerne les occlusives de l'anglais pour lesquelles l'opposition de voisement répond à des caractéristiques autres que celles observées pour les occlusives du français (voir § II.6.). Pour les occlusives du français, la tenue de l'occlusion est plus longue pour les non voisées que pour les voisées. Les données aérodynamiques témoignent d'une importante variabilité inter-sujet. La  $P_{io}$  relevée à l'instant de l'occlusion ( $P_c$  au moment où débit = 0) est supérieure d'environ 1,5 cmH<sub>2</sub>O pour les occlusives non voisées par rapport aux occlusives voisées. Généralement, le pic de  $P_{io}$  des occlusives non voisées est égal ou plus grand que celui des voisées mais la  $P_{io}$  moyenne n'est pas affectée. Le lieu d'articulation n'affecte pas la  $P_{io}$ . Pendant la phase de fermeture, l'aire de la zone de passage de l'air au point d'articulation se resserre rapidement jusqu'à l'occlusion complète, par conséquent la résistance au flux en ce point devient infinie. Les auteurs pensent que la caractéristique aérodynamique qui différencie les occlusives voisées des non voisées ne réside pas dans des considérations de valeurs de  $P_{io}$  mais dans l'observation de la courbe de  $P_{io}$ . Ils remarquent que lorsqu'on compare les courbes de  $P_{io}$  des occlusives non voisées et voisées, pour les occlusives non voisées, l'augmentation de la  $P_{io}$  est significativement plus rapide pendant la portion initiale de la phase d'occlusion puis est significativement plus lente pendant le reste de cette phase. Rousselot 1891 cité par Fisher-Jørgensen 1972 observe que les occlusives non voisées du français ont souvent une occlusion plus longue que les voisées. Durand 1936 et Evertz 1929 cités par Fisher-Jørgensen 1972 constatent la même tendance. Pour Fisher-Jørgensen 1964 cité par Fisher-Jørgensen 1972 cette variation de durée de l'occlusion est conditionnée par le lieu d'articulation, /b/ étant de plus longue durée que /d/ qui est de plus longue durée que /g/. La tendance ne se retrouve pas pour les occlusives non voisées. Le fait que ce n'est que pour les occlusives voisées que cette différence de durée est présente entre la labiale, la dentale et la vélaire est expliqué par Falc'hun 1951 cité par Fisher-Jørgensen 1972 par la difficulté croissante de prolonger une occlusive voisée avec le recul du lieu d'articulation. Fisher-Jørgensen 1972 ont effectué des enregistrements acoustiques et physiologiques auprès de 5 sujets francophones en tâche de répétition de mots avec et sans article et/ou de phrases. La pression intra-orale a été enregistrée à l'aide d'un manomètre électrique ; un petit tuyau en plastique est inséré dans la bouche du locuteur. La force de compression des lèvres est enregistrée au moyen d'une petite capsule de caoutchouc placée entre les lèvres du locuteur et combinée avec le manomètre. Le débit d'air buccal a été recueilli à l'aide d'un aéromètre ; le

sujet parle dans une embouchure, l'air passe dans une valve de caoutchouc dont le degré d'ouverture varie selon le débit d'air. Les glottogrammes ont été obtenus au moyen du glottographe de Fabre qui donne un tracé de la résistance électrique dans la glotte à l'aide de deux plaques placées des deux cotés du larynx. Les auteurs ont délimité l'occlusive de la façon suivante : le commencement de l'occlusion a été fixé au point où la voyelle précédente s'arrête, c'est-à-dire là où l'oscillogramme montre une réduction d'amplitude subite et où la courbe d'intensité descend brusquement. L'implosion est comprise dans l'occlusion. La localisation de l'explosion ne pose pas de problème. L'intervalle ouvert, selon la terminologie de Fant 1958 cité par Fisher-Jørgensen 1972, désigne la distance entre l'explosion et le début de la voyelle suivante. Les résultats montrent que la durée de l'intervalle ouvert est significativement plus longue pour les occlusives non voisées que pour les voisées. La différence de durée est très petite mais stable. La durée de l'intervalle ouvert dépend aussi de la voyelle qui suit ; elle est plus grande devant une voyelle fermée que devant une voyelle ouverte. L'intervalle ouvert est particulièrement long pour /p/ devant les voyelles fermées arrondies. Les différences de durée dues au lieu d'articulation des consonnes et celles qui sont dues à la nature de la voyelle suivante sont des tendances générales qui ont été constatées dans plusieurs langues telles que le danois, l'allemand, l'anglais et le néerlandais (Fisher-Jørgensen 1972, Evertz 1929, Lisker-Abramson 1964 cités par Fisher-Jørgensen 1972).

#### **IV.6. Données aérodynamiques de référence**

Autesserre & Teston 1987 ont mené une étude aérodynamique des consonnes du français. Ils avaient pour objectif de donner un ensemble de valeurs du débit d'air buccal relevées pendant la production de parole chez le sujet normal qui pourrait être utilisé comme référence dans l'interprétation des déviations pathologiques. Ils disposaient d'un des deux prototypes du Poliphonomètre III, appareillage destiné à la mesure des paramètres aérodynamiques, le deuxième étant en possession du service d'exploration neurologique fonctionnelle de l'hôpital de la Salpêtrière à Paris (Dr Chevré Muller). Les 10 locuteurs (5 hommes et 5 femmes) prononcent 10 fois le corpus constitué de 40 phrases au cours de 3 à 4 séances situées à plusieurs jours d'intervalle. Sont mesurés en parallèle au signal acoustique, le débit d'air buccal (Dab), le volume d'air buccal expiré (Vab), le débit d'air nasal (Dan), le volume d'air nasal expiré (Van) et la pression intra-orale (PIO). Les auteurs localisent 6 points sur le tracé du Dab pendant la production des consonnes en position intervocalique. Cette segmentation du Dab est validée par comparaison avec les points d'inflexion des tracés de la Pio. Les résultats montrent que les amplitudes des différents points des tracés du Dab pour les 10

réalisations d'un même locuteur apparaissent assez dispersées, les valeurs des écarts-types sont toujours importantes. La durée des segments présente des valeurs plus homogènes. Des amplitudes différentes du Dab sont associées à des courbes d'intensité parfaitement comparables. Les auteurs proposent de s'intéresser plus à la permanence de certaines formes caractéristiques de la courbe de Dab plutôt qu'aux valeurs de l'amplitude des pics de Dab. La dispersion est très importante pour l'échantillon de la population normale et ne peut pas être interprétée comme un critère de distinction pour l'examen clinique ; les auteurs proposent d'observer la confrontation des courbes de Dab et de Dan et celle des courbes de Dab et de Pio. Fisher-Jørgensen 1972 a relevé le débit d'air buccal chez un sujet francophone en tâche de répétition de mots qui montre une différence significative entre /p, t, k/ et /b, d, g/ avec un Dab plus fort pour les non voisées. L'auteur rapporte qu'en 1900 Roudet avait déjà décrit un Dab plus fort pour les occlusives non voisées que pour les voisées en français et pense que le Dab dépend plus du degré d'ouverture de la glotte au moment de l'explosion que de la Pio au cours de l'occlusion. Mais, à propos de la position de la glotte pendant la production des occlusives non voisées du français, Fisher-Jørgensen 1972 remarque qu'il y a des opinions divergentes à ce sujet (Kloster Jensen 1957 cité par Fisher-Jørgensen 1972) et qu'il semble qu'il y ait des différences individuelles. La courbe de la Pio, relevée auprès de 5 sujets francophones, montre que la Pio est plus importante pour les occlusives non voisées que pour les voisées. En effet, le pic de Pio des occlusives voisées représente approximativement 50 % du pic de Pio des occlusives non voisées.

## V. Les occlusives en contexte de parole pathologique : la dysarthrie parkinsonnienne

### V.1. Description des phénomènes aérodynamiques

Les études observant les mouvements des lèvres et des joues impliqués dans la production de parole chez des locuteurs dysarthriques rapportent une amplitude ainsi qu'une vitesse des mouvements articuloire réduites (Caligiuri 1987, Connor et al. 1989, voir Chapitre II, § IV.3.2.b pour plus de détail). D'autre part, les observations cinématiques du larynx montrent chez des locuteurs dysarthriques l'existence d'anormalités dans la position des structures laryngées en corrélation avec des dysfonctionnements du voisement (Hanson et al. 1984, voir Chapitre II, § IV.3.3). Ainsi, la réduction de l'intelligibilité caractéristique de la maladie de Parkinson pourrait être la conséquence d'un dysfonctionnement au niveau du contrôle et de la coordination entre les évènements laryngés et les évènements supralaryngés. Selon Gracco et al. 1992, l'évaluation simultanée des articulateurs supérieurs et de la dynamique laryngée peut donner une analyse plus complète des déficits qui perturbent l'intelligibilité.

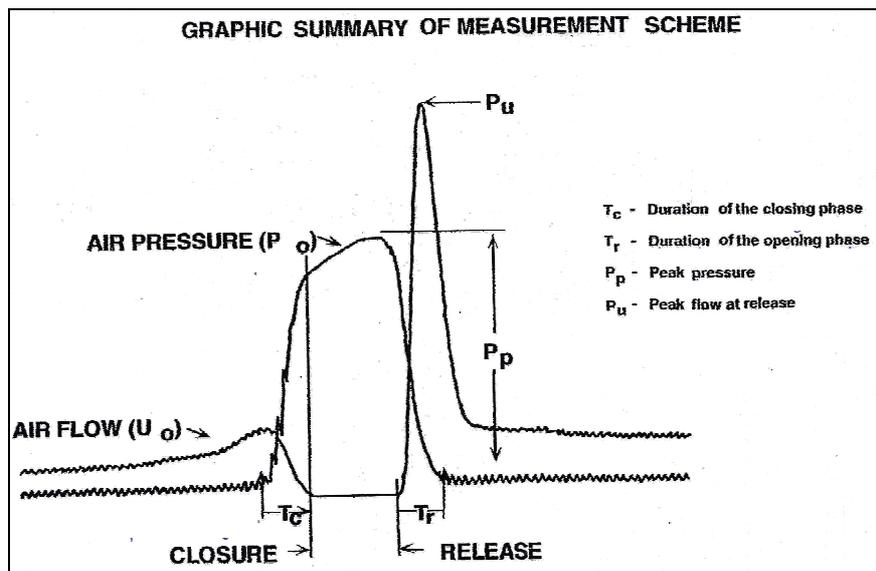


Figure 7: Courbes de  $P_{io}$  et de  $D_{ab}$  pendant la production de /p/, d'après Gracco et al. 1992, p. 105

$T_c$  = durée de la phase d'occlusion,  $T_r$  = durée de la phase de relâchement,  $P_p$  = pic de pression intra-orale,  $P_u$  = pic de débit d'air à l'instant du relâchement.

L'étude de Gracco et al. 1992 propose une évaluation efficace et rapide des articulations laryngée et supralaryngée chez les parkinsoniens à travers l'analyse des données aérodynamiques. La méthodologie est basée sur celle de Müller & Brown 1980. 5 parkinsoniens (3 hommes, 2 femmes) sous traitement médicamenteux (Sinemet) ont participé à l'étude. Les tâches de production de parole consiste en 1) la répétition des dissyllabes

[aepae], [ipi], [aebae] et [ibi], 10 fois chacune selon un débit confortable. 2) 4 répétitions des voyelles tenues /a/ et /i/. 3) 7 répétitions de la syllabe [pae]. Comme l'ont fait Müller & Brown 1980, d'après l'enregistrement des données aérodynamiques de pression intra-orale et de débit d'air buccal, les différentes phases et évènements de l'occlusive sont délimités afin de procéder à des mesures temporelles et à des mesures de pression et de débit. Les mesures aérodynamiques sont utilisées pour évaluer les changements de l'état physiologique des cordes vocales pendant la tenue de la phonation. Les résultats suggèrent différents dysfonctionnements laryngés et supralaryngés chez les 5 parkinsoniens. La variabilité entre les sujets est importante, par contre chaque sujet présente peu de variation entre ses différentes répétitions. Pour les répétitions de [aepae], [ipi], [aebae] et [ibi], tous les sujets montrent une différence entre les occlusives voisées et les occlusives non voisées avec une Pio moyenne et un Dab moyen plus importants pour les occlusives non voisées que pour les voisées. Le pic de Pio est de 6 à 8 cmH<sub>2</sub>O pour /p/ et de 2 à 5 cmH<sub>2</sub>O pour /b/. Ces valeurs moyennes sont en dessous des valeurs normales selon Subtelney et al. 1966 cités par Gracco et al. 1992. Le pic du Dab est de 100 à 1180 ml/sec pour /p/ et de 40 à 550 ml/sec pour /b/. Ces valeurs sont en dessous des valeurs normales selon Gilbert 1973 et Isshiki & Ringel 1964 cités par Gracco et al. 1992. La Tc nous informe de la durée que prennent les lèvres pour s'accoler afin de produire /p/ et /b/. Pour 4 sujets sur 5, la Tc est plus longue que la normale selon la durée rapportée par Müller & Brown 1980 (50 msec). Les auteurs pensent que cette longue durée de la phase de fermeture implique une lenteur des mouvements de fermeture des lèvres. Dans l'absence de données kinématiques, l'examen simultané de la Pio et du Dab peut être utilisé pour inférer la coordination et le timing entre les structures laryngée et supralaryngée. Pour les répétitions de [aepae], pendant la phase d'occlusion le débit diminue et est approprié à l'occlusive non voisée. Mais deux comportements différents sont repérés sur les courbes des données aérodynamiques : 1) Le dévoisement laryngé commence plus tôt que la fermeture orale ; les activités du larynx et des articulateurs ne sont pas coordonnées ou sont ralenties. 2) Le dévoisement est plus abrupt ; la transition est accélérée. Pour les mesures de la phase de relâchement de l'occlusion Tr, deux sujets ont des durées plus longues que la normale pour le /b/, c'est-à-dire des durées de Tr de plus de 65 msec, Tr moyenne relevée par Müller & Brown 1980. Les Tr pour les /b/ dépassent celles pour les /p/ alors que la durée moyenne de Tr pour les /p/ est de 130 msec selon Müller & Brown 1980. Pour ces deux sujets, la Pio met plus de temps que la normale pour retourner à une ligne de base après le relâchement oral de la consonne. Le temps de relâchement est influencé par de nombreux facteurs et ne reflète pas seulement le geste de relâchement au point d'articulation mais aussi

la possibilité de la présence d'une pulsation de souffle superposé ou d'une importante résistance laryngée qui provoque un maintien de la Pio. La résistance laryngée est susceptible d'être plus importante pendant le voisement des occlusives voisées. Pour la production des voyelles [ae] et [i], le Dab moyen obtenu au milieu des voyelles varie selon les sujets. Pour 3 sujets sur 5 il est inférieur à la normale, en effet, le Dab de référence est de 150 à 250 ml/sec et pour ces 3 sujets il atteint des valeurs comprises entre 40 et 100 ml/sec. L'une des conséquences de l'insuffisance glottique ou de la fermeture inadéquate de la glotte est un Dab moyen plus grand que la normale (Isshiki & Von leden 1964, Hirano 1981, Iwata et al. 1972, Shigemori 1977, Yoshioka et al. 1977 cités par Gracco et al. 1992). Il semblerait que pour ces sujets, la résistance laryngée soit excessive. Les auteurs établissent une estimation de la résistance laryngée, selon la méthode de Smitherman & Hixon 1981 cités par Gracco et al. 1992, (pression transglottique sur débit d'air moyen pendant le temps de phonation). Pour les 5 sujets elle est de 20 à 58 cmH<sub>2</sub>O/L/sec et est donc plus importante que la normale selon Hillman et al. 1989 et Smitherman & Hixon 1981 cités par Gracco et al. 1992. Le sujet qui présente la résistance laryngée la plus importante est celui qui a le Dab moyen le plus bas mais qui n'atteint jamais la valeur zéro. Le voisement est conservé sur l'occlusive /p/. La courbe de la Pio montre une variation très importante et une chute de la Pio au cours des répétitions. La résistance laryngée consiste en une tension excessive des muscles au niveau de la glotte mais une résistance peut se réaliser de façon supraglottique en un point du tractus vocal. Lorsque la Pio met plus de temps à regagner la ligne de base, on peut penser que le relâchement du point d'occlusion de la part des articulateurs n'est pas bref et précis mais qu'au contraire, les mouvements articulatoires sont lents. Les auteurs remarquent que pour un sujet la résistance laryngée ainsi que la rigidité musculaire au niveau des membres sont importantes. Ils proposent de reconnaître une certaine corrélation entre la résistance laryngée et les symptômes de rigidité musculaire au niveau des membres même si les symptômes de la parole peuvent ne pas être toujours corrélés à ceux des membres. Pour 2 des 5 parkinsoniens, les mouvements de fermeture et de relâchement oraux sont lents et indiquent donc un problème de coordination entre les mouvements laryngés et supralaryngés. Les auteurs suggèrent que les mesures de la résistance du tractus vocal ou laryngée peuvent être utiles pour décrire objectivement les caractéristiques perceptives de la voix parkinsonienne. Face à la grande variété de troubles de la parole que présente la population parkinsonienne, les données perceptives, acoustiques et aérodynamiques peuvent être utilisées pour distinguer différents sous-groupes partageant les mêmes types de dysfonctionnement. Les informations données par les courbes de Pio et de Dab peuvent aider à identifier les manifestations

laryngées des pathophysiologies affectant les caractéristiques phonatoires et l'efficacité glottique.

## **V.2. Le dysfonctionnement des cordes vocales**

Lorsque la vibration des cordes vocales est perturbée, le mode phonatoire est altéré. La phonétique anglophone utilise les termes de « breathiness, hoarseness, harshness, roughness, tremulousness » qu'il est difficile de traduire en français parce que les termes correspondant renvoient soit à des termes relevant du volume de parole tels que murmure ou chuchotement, soit à des termes relevant de la qualité de la voix tels que rauque, grave ou tremblante (voir Chapitre I, § III.2., IV.2.1.a.et b., IV.3.3). En réalité, les cordes vocales peuvent souffrir de différents dysfonctionnements. L'hypertonie des cordes vocales les maintient éloignées l'une de l'autre. Le phénomène de « laryngeal hypoadduction » désigne une adduction insatisfaisante des cordes vocales. Till & Alp 1991 cités par Weismer 1997 décrivent un excès du flux d'air qui traverse la glotte pendant l'activité de phonation chez les dysarthriques. Solomon & Hixon 1993 cités par Weismer 1997 montrent que les dysarthriques produisent de plus petits groupes de souffle, et moins de syllabes par groupe de souffle que les sujets témoins. Ce comportement semble être un moyen de pallier le problème du débit transglottique trop important. Ce dysfonctionnement laryngé a de nombreuses conséquences ; l'intensité de la voix est réduite autrement dit le volume de parole chute, les variations de l'intensité s'unifient et engendrent des problèmes du contrôle intonatif. Des anomalies au niveau du larynx qui se réalisent sous la forme d'un écartement des cordes vocales et d'une large ouverture de la fente glottique pendant le temps de phonation ont été démontrées chez les parkinsoniens (Hanson et al. 1984, Smith et al. 1995 cités par Schulz 2002). Elles sont à l'origine d'un dysfonctionnement de la vibration des cordes vocales qui s'accompagne d'une baisse de l'intensité vocale. Le tremblement laryngé ainsi que les anomalies au niveau des cordes vocales sont fréquemment observés chez les parkinsoniens (Perez et al. 1996 cités par Schulz 2002). Le muscle thyroaryténoïde est le muscle qui a le rôle majeur dans l'adduction des cordes vocales et de nombreuses études rapportent une réduction de l'amplitude de ses mouvements pendant l'activité de parole chez les parkinsoniens (Baker et al. 1998, Luschi et al. 1999 cités par Schulz 2002). Les cordes vocales peuvent être aussi dans une situation contraire, c'est-à-dire serrées de façon excessive l'une contre l'autre sur toute leur longueur ou sur seulement une partie de leur longueur. Dans ce cas, elles provoquent une résistance laryngée au niveau du flux transglottique (voir § IV.1.), la vitesse de vibration des cordes

vocales s'accélère et entraîne une augmentation de la hauteur de la voix dont la Fo élevée témoigne.

### **V.3. Les perturbations respiratoires**

La dysarthrie hypokinétique affecte le système phonatoire (Weismer 1997). Le volume de parole est un indice du fonctionnement aérodynamique pendant l'activité de parole. En effet, l'intensité de la voix dépend de l'amplitude de vibration des cordes vocales et la vibration des cordes vocales dépend, entre autre, du flux d'air transglottique. Si le flux d'air transglottique est faible, l'intensité de la voix sera faible. La majorité des parkinsoniens produisent une voix d'intensité réduite. La parole parkinsonienne est qualifiée d'hypophone (Ho et al. 1999). Selon Fox et Ramig 1997 cités par Schulz 2002, l'intensité est plus basse chez les parkinsoniens avec, en moyenne, 2 à 4 dB de moins que celle des sujets témoins. Certains parkinsoniens font baisser leur volume de parole jusqu'au chuchotement d'après Boshes 1966 et Canter 1965 cités par Schulz 2002. Il est difficile de savoir si les cordes vocales rencontrent des problèmes de vibration parce qu'elles souffrent d'hypertonie qui les maintient éloignées l'une de l'autre ou si elles ont des difficultés à vibrer à cause de l'insuffisance du flux d'air qui provient des poumons. Des études ont utilisé des données kinématiques afin d'observer les aspects des problèmes respiratoires potentiels (Hixon et al. 1973, Hixon et al. 1976 cités par Weismer 1997). Les études de Murdoch et al. 1989 et de Solomon & Hixon 1993 cités par Weismer 1997 montrent que les parkinsoniens ne présentent pas de mouvements anormaux de la cage thoracique, ni du diaphragme et ni de l'abdomen. D'après les auteurs, le volume pulmonaire utilisé pendant l'activité de parole par les parkinsoniens n'est pas différent de celui des sujets témoins. Les anomalies de la parole ne semblent pas provenir de l'activité pulmonaire. Par contre, d'autres études et également celles non spécifiques à l'étude de la parole rapportent que le système respiratoire est affecté en contexte de maladie de Parkinson (Weismer 1997). Pendant l'activité de parole, les parkinsoniens ont une cage thoracique de plus petit volume et un volume abdominal plus grand que les sujets témoins au moment d'initier les groupes de souffle. Cette constatation suggère un flux d'air inadéquat qui accède au tractus vocal pendant la parole (Solomon & Hixon 1993 cités par Schulz & Grant 2000). D'autre part, les données aérodynamiques peuvent nous donner des indices quant à l'efficacité de l'activité respiratoire pendant le temps de parole. Certains parkinsoniens présentent une pression intra-orale plus basse pendant la production de syllabes CVC que les sujets témoins (Netsell et al. 1975, Solomon & Hixon 1993 cités par Schulz & Grant 2000). Cette pression intra-orale basse peut provenir d'une pression intrapulmonaire

elle-même déjà réduite, suggérant un problème d'insuffisance respiratoire qui se manifesterait également en contexte de production de parole. De plus, Boshes 1966, Canter 1965, Mueller 1971 cités par Schulz & Grant 2000 rapportent que les parkinsoniens présentent une difficulté à produire des voyelles tenues et cette constatation va dans le sens d'un dysfonctionnement du contrôle respiratoire. Mais les auteurs ne sont pas unanimes ; Fox & Ramig 1997 cités par Schulz & Grant 2000 ne rapportent pas de différence significative entre la durée des voyelles tenues produites par les parkinsoniens et celles des sujets témoins. L'observation du débit de parole peut également nous renseigner sur la gestion du souffle pendant l'activité de parole. Les parkinsoniens présentent un débit de parole plus variable que les sujets témoins (Boshes 1966, Canter 1963 cités par Schulz & Grant 2000). Certains parkinsoniens présentent un débit de parole plus rapide et d'autres un débit de parole plus lent que les sujets témoins ; les deux comportements ont été observés (Canter 1963 cité par Schulz & Grant 2000, Metter & Hanson 1986). Une telle variabilité rend souvent les comparaisons statistiquement non significatives et c'est le cas, entre autres, pour les études de Caligiuri 1989, Ludlow et al. 1987, Pitcairn et al. 1990 cités par Schulz & Grant 2000. De nombreuses études font apparaître des différences de performance des parkinsoniens en fonction du type de tâche de production utilisée pour recueillir l'échantillon de parole dysarthrique (Connor & Abbs 1991, Ho et al. 1998 cités par Schulz & Grant 2000). Alors que certaines études ont montré un temps de pause plus grand chez les parkinsoniens par rapport aux sujets témoins, d'autres n'ont pas relevé de différence significative (Canter 1963, Volkman et al. 1992 cités par Schulz & Grant 2000).

#### **V.4. Les mouvements articulatoires**

Les consonnes sont jugées imprécises par les études perceptives ; « imprecise consonants » est une observation qui se retrouve dans de nombreux rapports à propos de la dysarthrie parkinsonienne (Cramer 1940, Doshay 1960, Grunwell et al. 1979, Hoberman 1958 cités par Gentil et al. 1995, Canter 1963, 1965, Darley et al. 1969, 1975...). Les mouvements articulatoires sont accusés de perdre en rapidité, ampleur, précision, coordination et force d'exécution par de nombreuses études acoustiques (Metter & Hanson 1986), cinématiques (Ackermann et al. 1997) et aérodynamiques (Müller & Brown 1980). Certains auteurs (Logemann et al. 1978) rapportent que chez les parkinsoniens anglophones, ce sont le /k/ et le /g/ qui comptabilisent le plus grand nombre d'erreurs, puis viennent le /s/ et le /z/, le /f/ et le /ʒ/, le /p/ et le /b/, le /f/ et le /v/ et enfin le /t/ et le /d/. D'autres auteurs (Ackermann & Ziegler 1991, Canter 1965, Forrest et al. 1989 cités par Schulz 2002) montrent que l'articulation

imprécise de la dysarthrie hypokinétique affecte surtout les consonnes occlusives car les articulateurs ont davantage de difficulté à réaliser une occlusion totale et à la maintenir. Lorsque les articulateurs perdent en force et en précision l'occlusive peut perdre son mode et son lieu d'articulation ; le /p/ devient /f/, le /b/ devient /v/, le /t/ devient /s/, le /d/ devient /z/, le /k/ devient /ʃ/ et le /g/ devient /ʒ/. Lorsque les articulateurs perdent en force articuloire uniquement, l'occlusive peut changer de mode articuloire ; si les articulateurs ne réalisent pas une occlusion totale et laissent s'échapper une certaine quantité d'air alors l'occlusive devient fricative. La perte du mode articuloire est constatée par de nombreux auteurs et est décrite comme l'erreur articuloire caractéristique de la dysarthrie parkinsonienne par Gentil et al. 1995. Par contre, l'occlusive peut être réalisée comme une fricative à part entière avec un changement du lieu d'articulation, il s'agit du phénomène de spirantisation (voir § suivant), ou présenter seulement des bruits de friction. Dans le cas où l'occlusive présente des bruits de friction, la vitesse des mouvements articuloires peut être mise en cause avec un relâchement de l'occlusion qui, au lieu d'être soudain, est ralenti et permet au flux d'air s'échappant de la cavité buccale de créer un bruit de friction sur son passage. La tâche de diadochokinésie est un bon moyen de mettre à l'épreuve la rapidité des mouvements des articulateurs. Les répétitions de [pa], [ta], [ka] et [pataka] sollicitent les mouvements des lèvres, de la pointe et du dos de la langue et montrent une imprécision de l'articulation (Canter 1965, Connor et al. 1989, Hirose et al. 1981 cités par Schulz & Grant 2000). Buck & Cooper 1956 cités par Schulz 2002 rapportent que certains parkinsoniens présentent autant de dysfonctionnement sur le plan phonatoire que sur le plan articuloire, ainsi un phénomène de voisement des consonnes sourdes (Weismer 1984 cité par Gentil et al. 1995) peut se rajouter aux dysfonctionnements articuloires. D'autre part, selon Logemann et al. 1978, 45 % des parkinsoniens présentent également des consonnes fricatives et des consonnes affriquées mal articulées.

### **V.5. Le phénomène de spirantisation**

Le phénomène de spirantisation n'est pas seulement une production de consonnes occlusives avec une occlusion incomplète au niveau du tractus vocal mais consiste en un processus phonologique selon lequel une occlusive est convertie en une fricative. Cette erreur articuloire est reconnue comme une signature de la maladie de Parkinson (Logemann & Fisher 1981 cités par Kent et al. 1999). Lorsqu'il y a spirantisation, une fricative prend la place de l'occlusive. Le mode phonatoire est conservé mais le mode et le lieu d'articulation changent. Le /p/ devient /f/, le /b/ devient /v/, le /t/ devient /s/, le /d/ devient /z/, le /k/ devient

/ʃ/ et le /g/ devient /ʒ/. L'examen de la parole en contexte de différentes maladies neurologiques montre que la spirantisation est fréquente pour tous les types de dysarthries (Weismer 1997) et a des conséquences sur l'intelligibilité des locuteurs. Les phénomènes de spirantisation sont révélés par les bruits de turbulence observés sur les documents acoustiques pendant toute la durée de l'occlusive-fricative (Kent & Rosenbek 1982, Weismer 1984 cités par Weismer 1997). La spirantisation est également décrite chez des cas de ALS par Weismer et al. 1986 cités par Weismer 1997.

*Pour résumer ...*

Une pression d'air qui augmente dans la cavité supraglottique derrière le point d'occlusion est associée à la production de toutes les obstruantes et donc des consonnes occlusives. Lorsque les articulateurs relâchent le point d'occlusion, l'air s'échappe brusquement et donne le bruit d'explosion des occlusives. En français, le /p/ a une durée d'occlusion plus longue, une force de compression des lèvres plus forte, un pic de P<sub>io</sub> plus haut et un mouvement d'aperture articulaire plus rapide que le /b/. Dans le cas de dysarthrie hypokinétique, les occlusives sont imprécises. L'occlusive peut perdre son identité de différentes façons. Le lieu d'articulation de l'occlusive peut perdre en précision. L'occlusion des articulateurs peut être partielle et laisser l'air s'échapper progressivement. Mais ces phénomènes s'observent aussi dans la parole normale, surtout en parole continue (effets de coarticulation entraînant un déplacement du lieu d'articulation, assimilation de voisement, occlusions imparfaitement réalisées...). En contexte de parole dysarthrique, le débit d'air peut être insuffisant soit à cause d'une insuffisance respiratoire, soit à cause d'une résistance laryngée, soit à cause d'une résistance supralaryngée avec des mouvements articulaires ralentis. Le mode phonatoire peut être perturbé soit par une adduction insuffisante des cordes vocales, soit par une adduction excessive, totale ou partielle, des cordes vocales. Tous ces dysfonctionnements au niveau de la production des occlusives ont été repérés par différents types d'études en contexte de maladie de Parkinson et contribuent à reconnaître l'occlusive comme le phonème le plus perturbé par la dysarthrie hypokinétique.

## CHAPITRE II

### La production de parole pathologique: la dysarthrie parkinsonienne

« Le langage ordinaire, comme la vision des couleurs ou la marche, est un exemple de mécanisme parfait ; c'est un processus qui fonctionne si bien que l'utilisateur considère que sa production va de soi, sans avoir conscience de la machinerie complexe cachée derrière la façade. »

Steven Pinker (1999)

La dysarthrie parkinsonienne est le domaine d'application que nous avons choisi pour notre étude expérimentale qui s'inscrit dans le cadre de la pathologie du langage. Nous proposons dans ce chapitre d'observer la façon dont la production de la parole parkinsonienne est appréhendée dans la littérature. Nous tenterons d'aborder tous les aspects de la parole afin de disposer d'une description exhaustive.

## I. Les dysarthries

### I.1. Définition générale

FL. Darley, AE. Aronson, & JR Brown ont donné en 1969 une définition très précise de la dysarthrie neuro-motrice, aucune meilleure définition n'a été proposée depuis cette date et c'est celle qui reste la plus citée à ce jour ;

“...dysarthria is a collective name for a group of related speech disorders that are due to disturbances in muscular control of the speech mechanisms resulting from any impairment of the basic motor processes involved in the execution of speech...”.

La dysarthrie est l'ensemble des troubles de la parole liés à des perturbations du contrôle musculaire des organes de la parole, dont l'origine est une lésion du système nerveux central et/ou périphérique. Le terme de dysarthrie comprend donc tous les dysfonctionnements relatifs à la respiration, phonation, articulation, nasalisation et prosodie. Selon Darley et al. 1975, d'autres termes ont été proposés afin de rendre compte des désordres de parole neuromusculaires au cours desquels la phonation et l'articulation sont altérées ; Peacher 1950 parle de « dysarthrophonia » et Grewel 1957 désigne par « dysarthro-pneumo-ponia » les dysfonctionnements de la parole s'accompagnant de problèmes liés au système respiratoire. Cependant le terme de dysarthrie est celui qui est généralement employé pour référer aux dysfonctionnements de la parole d'origine neurologique lorsque l'atteinte se situe au niveau du système nerveux central et/ou périphérique. Les dysarthries relèvent de désordres complexes de la parole parce qu'elles représentent une variété de désordres neurologiques qui peuvent potentiellement affecter toutes les composantes de la production de parole (Kent et al. 1999). Elles peuvent survenir de différentes lésions neurologiques donnant lieu à différents accidents ou pathologies neurologiques telles que accident vasculaire cérébral (AVC), traumatisme crânien (TC), sclérose en plaques, syndrome extrapyramidal, sclérose latérale amyotrophique (SLA), ataxie cérébelleuse, chorée de Huntington ... Le dysfonctionnement des différentes composantes du système moteur central qui comprend l'appareil corticobulbaire « corticobulbar tracts », les ganglions de la base « basal ganglia » et le cervelet « cerebellum », peut engendrer des déficits dysarthriques (Darley et al. 1975). Les troubles se manifestent par une faiblesse, une lenteur et/ou une incoordination des muscles utilisés dans la production de la parole. Les dysarthries comportent différentes expressions et peuvent se combiner entre elles. Quel que soit le type de dysarthrie, l'ensemble des

organes impliqués dans la parole est altéré. En général, la Maladie de Parkinson engendre une dysarthrie hypokinétique (Darley et al. 1975) s'accompagnant d'une réduction des mouvements des organes articulatoires et phonatoires. Une atteinte du faisceau pyramidal s'accompagne le plus souvent d'une dysarthrie spastique. Le syndrome cérébelleux provoque quant à lui une dysarthrie ataxique. Les dysarthries mixtes résultent de syndromes parkinsoniens atypiques. La dysarthrie se situe au niveau du dysfonctionnement du contrôle moteur de la parole. Darley et al. 1975 recensent les désordres qui ne rentrent pas dans la définition classique de la dysarthrie tels que les désordres développementaux de l'articulation (dyslalie), les désordres de résonance et d'articulation dus à une fissure palatale ou à d'autres problèmes de cavité.

### **I.2. Distinction entre aphasie, dysarthrie et apraxie de parole**

L'aphasie est un trouble du langage, la dysarthrie et l'apraxie sont des dysfonctionnements de la parole et ces trois complications résultent d'atteintes neurologiques distinctes. Lorsque la zone cérébrale atteinte correspond à la faculté de langage, les troubles se traduisent par une aphasie. L'aphasie est une réduction de l'activité de décodage (interprétation) et d'encodage (formulation). Elle se manifeste par une difficulté d'écoute, de lecture, de parole et d'écriture. Les fonctions intellectuelles des aphasiques sont intactes mais l'altération des fonctions spécifiques au langage ne permet plus le maniement d'un vocabulaire adapté, l'application des règles syntaxiques, ni l'utilisation de la mémoire auditive. En revanche, la dysarthrie résulte de désordres du contrôle moteur. Les dommages se situent au niveau du système nerveux périphérique et/ou central. L'activité de parole souffre de faiblesse, lenteur, incoordination et altération de la tonicité des muscles. Le terme d'anarthrie désigne une perturbation de la parole due à une sévère perte de la fonction motrice des muscles de la parole. Enfin l'apraxie survient à la suite d'une altération des circuits neurologiques consacrés à la programmation des mouvements articulatoires. Les répercussions sur la parole sont différentes selon la nature des atteintes neurologiques et peuvent être perçues par un auditeur entraîné selon Darley et al. 1975. Keller 1985, observe parallèlement les cas d'aphasie et les cas de dysarthrie ;

*« ... Dans le cas d'une lésion corticale (excluant la région motrice primaire), on observe alors des perturbations linguistiques caractéristiques d'une aphasie, tandis que dans le cas d'une lésion sous-corticale ou de la région motrice primaire, on constate généralement des dérangements représentatifs d'une dysarthrie. Ces lésions sous-corticales touchent notamment le thalamus, les noyaux gris centraux, les voies pyramidales et extrapyramidales, ainsi que leurs*

*noyaux associés, les nerfs crâniens et le cervelet... »*

Pour lui, la parole dysarthrique se distingue par la présence continue de distorsions phonétiques et par l'absence générale de perturbations grammaticales ou lexicales. Il reconnaît une articulation typiquement indistincte, souvent associée à une voix basse ou rauque comme l'ont définie Darley, Aronson & Brown en 1975. Par ailleurs, les dysarthries se distinguent d'une part des dysphonies qui sont essentiellement des perturbations de la voix affectant les sons non articulés aussi bien que les sons de parole et d'autre part de l'anarthrie qui est un trouble articulaire pur, voire une suspension totale du langage (mutisme) mais sans problème de compréhension. Pour résumer ; l'aphasie est un dysfonctionnement du langage alors que la dysarthrie et l'apraxie relèvent de désordres moteurs de la parole.

### **I.3. Les différentes classifications des dysarthries**

Les jugements perceptifs ont été les premiers moyens de classification et de description de la dysarthrie. La fiabilité et la validité des estimations perceptives sont parfois remises en question, notamment lorsque l'estimation a été effectuée par différents juges ou spécialistes n'ayant pas bénéficié d'un entraînement commun (Kent et al. 1999). Les dysarthries peuvent être classées selon différents critères. Le critère de l'âge d'apparition (congénitale, acquise) peut être retenu, celui de l'étiologie également (vasculaire, néoplastique, traumatique, inflammatoire, toxique, métabolique, dégénérative). Une classification peut être effectuée selon l'aire neuroanatomique défectueuse (cérébrale, cérébelleuse, base du cerveau, spinale ou centrale, périphérique), selon le nerf crânien impliqué (V, VII, IX-X, XII), selon la composante affectée au cours de la production de parole (respiration, phonation, résonance, articulation, prosodie) ou encore selon la maladie contractée par le patient (parkinsonisme, myasthénie, sclérose latérale amyotrophique, etc.). Les systèmes de classification hérités des cliniciens sont ceux renvoyant aux éléments neuroanatomiques et neurophysiologiques. En effet, de nombreux cliniciens ont pressenti l'existence d'une correspondance entre les parties du système nerveux périphérique et/ou central endommagées et certaines conséquences sur le plan physique ou anatomique. Par exemple, en 1943 Froeschels cité par Darley et al. 1975 se focalise sur un type de lésions cérébrales et décrit les dysarthries qui leur sont associées. De la même façon, Luchsinger & Arnold 1965 cités par Darley et al. 1975 distinguent 6 dysarthries et rapportent que l'impression audible donnée par les différentes dysarthries est davantage déterminée par la localisation de la lésion cérébrale sous-jacente que par les causes étiologiques. Dans la même logique, en 1962 et 1965 Brain cité par

Darley et al. 1975, identifie une dysarthrie due à des lésions de neurones du système moteur supérieur : la dysarthrie spastique, une autre due à des lésions du striatum associée à des problèmes de coordination : la dysarthrie ataxique, une autre encore due à des lésions de neurones du système moteur inférieur et enfin d'autres qui proviennent de combinaisons de différentes lésions. Il mentionne également des dysarthries associées aux myopathies et d'autres associées à l'aphasie : la dysarthrie apraxique. En 1957 Grewel cité par Darley et al. 1975 propose une classification des dysarthries s'inspirant de celle développée par Peacher en 1950 cité par Darley et al. 1975. Elle comporte 14 types de dysarthries. La classification repose sur la localisation des lésions cérébrales avec parfois une information supplémentaire concernant la maladie associée ou l'étiologie. Cette classification constitue une analyse neurologique de chaque dysarthrie et rappelle qu'il est nécessaire de faire la distinction entre la dysarthrie, l'apraxie et l'aphasie. Avec Grewel se confirme l'idée que les dysarthries reflètent la neuroanatomie et la neurophysiologie et qu'elles peuvent constituer une aide au diagnostic lorsque l'examen neurologique ne relève pas de symptôme convaincant. Ses travaux vont changer la façon d'appréhender les dysarthries ; elles seront désormais considérées essentiellement comme des symptômes d'atteintes neurologiques. Cette conception donne la primauté au critère de classification neurologique. La classification perceptive de Darley et al. 1975 compte 7 types de dysarthrie: la dysarthrie spastique, la dysarthrie flasque, la dysarthrie hypokinétique, la dysarthrie hyperkinétique, la dysarthrie ataxique, les dysarthries mixtes et une classe regroupant les dysarthries inclassables. Ils proposent une classification sur critère neurologique mais ils donnent une information supplémentaire en spécifiant les dysfonctionnements observés au niveau des muscles à l'origine de la dysarthrie. Ces auteurs sont les premiers à avoir tenté d'établir statistiquement des corrélations entre les symptômes cliniques de la maladie de Parkinson et les altérations de la voix et de la parole. La dysarthrie spastique provient d'une atteinte pyramidale (motoneurone central) et est la plus fréquemment retrouvée dans les cas d'AVC. La dysarthrie flasque provient d'une atteinte des noyaux gris centraux ou des nerfs crâniens innervant les muscles effecteurs (motoneurone périphérique). La dysarthrie ataxique est due à des lésions cérébelleuses et la dysarthrie hypokinétique à une atteinte du système extrapyramidal comme c'est le cas dans la maladie de Parkinson. La dysarthrie hyperkinétique résulte d'un dysfonctionnement du système extrapyramidal comme c'est le cas pour les chorées ou les dystonies. La dysarthrie mixte est observée notamment en contexte de SLA, de TC ou

d'atrophies multisystémiques.

#### **I.4. Les différents types d'évaluation de la dysarthrie**

Habituellement la dysarthrie est évaluée de façon perceptive et classifiée en fonction du diagnostic neurologique, comme c'est le cas en contexte de maladie de Parkinson. Il existe différents systèmes d'évaluation et de classification. Les évaluations perceptives sont couramment réalisées par les neurologues, mais elles peuvent être établies par d'autres cliniciens ou par des orthophonistes. Les classifications perceptives couramment utilisées sont celles de Darley et al. 1969, 1975 ou de Enderby 1983, 1986. L'observation de la parole des patients fait partie intégrante du bilan neurologique, Darley et al. 1975 critique le terme de « slurred speech » qui signifie « parole mal articulée, bredouillée, indistincte » parce qu'il est trop général et qu'il ne donne pas d'information. Or la nature des perturbations est pourtant déterminante dans le diagnostic car elle rend compte des altérations des différents processus moteurs impliqués dans la parole. Selon Logemann & Fisher 1978, l'utilisation de termes tels que « Slurred, thick, indistinct » (bredouillé, grossier, indistinct) se retrouve chez Kaplan et al. 1954, Grewel 1957, Birkmayer & Hornykiewicz 1961, Chiasserini & Chiappetta 1964, Allan et al. 1966, Zimmerman & Canfield 1966, Fasano 1968, Sarno 1968, Samra et al. 1969, Rigrinsky & Morrison 1970... et illustre le manque de données quantitatives des études de l'époque. Darley et al. 1975 nous font part de certains termes relevés dans des rapports d'examen et des manuels neurologiques. L'abondance des adjectifs utilisés témoigne de la priorité donnée aux impressions auditives: « étouffé, indistinct, pas clair, maladroit, paralysie cérébrale, forcé, lent, nasal, laborieux, expressif, traînant, saccadé ». Certains n'hésitent pas à utiliser des expressions imagées car l'objectif premier est de rendre compte de ce qui est perçu de la parole des patients atteints de certaines maladies neurologiques : « baveux, avec un objet étranger dans la bouche, avec des pommes de terre chaudes dans la bouche, avec de la bouillie plein la bouche, avec la bouche pleine de purée de pommes de terre »... Darley et al. 1975 proposent une grille d'évaluation perceptive permettant de classer différentes composantes de la parole retenues comme représentatives de la dysarthrie sur une échelle allant de 1 = normal à 7 = très distinct de la normalité. Les dimensions observées sont l'intelligibilité générale, la dysphonie, l'articulation, la prosodie et l'hypernasalité. Un index total de sévérité de la dysarthrie est désigné par la somme des scores des 5 différentes catégories et représente le « dysarthria scale » ou taux de dysarthrie allant de 5 à 35. La tâche de lecture est largement utilisée afin de calculer le débit de parole des

patients. La tâche de tenue de voyelle permet de mesurer le temps maximum de phonation. La hauteur de la voix et son étendue peuvent être aussi évaluées de façon informelle en faisant chanter le patient, la consigne étant de monter le plus haut possible dans les aigus et de descendre le plus bas possible dans les graves. La tâche de répétition de syllabes le plus rapidement possible ou tâche de diadochokinésie constitue une évaluation des performances motrices du patient. Johns & Darley 1970 cités par Darley et al. 1975 proposent une évaluation de la dysarthrie au moyen d'un test articulatoire. Les patients de diverses atteintes neurologiques doivent produire différentes articulations, des auditeurs repèrent les phonèmes présentant le plus d'erreurs articulatoires. Les auteurs notent une certaine constance dans le type d'erreurs réalisées. Les dysarthriques font principalement des erreurs de simplification telles que distorsion, réduction, omission alors que les apraxiques commettent des erreurs de complication telles que substitution, répétition, addition. Dans la même logique, Logemann & Fisher ont mis au point en 1971 un test de compétence articulatoire « the Fisher-Logemann Test of Articulation Competence ». Il se présente sous forme d'une tâche de lecture d'un ensemble de 11 phrases mettant en jeu tous les phonèmes consonantiques de l'anglais dans toutes les positions syllabiques possibles (prévocalique, intervocalique et postvocalique). Dans un premier temps, les auditeurs doivent remplir les grilles concernant les dysfonctionnements du tractus vocal et doivent renseigner de :

- 1) Désordres du tractus vocal : oui ou non.
- 2) Désordres laryngés : breathiness (murmure), roughness (grave), hoarseness (rauque), tremulousness (tremblement), reduced pitch range (réduction intonative), inappropriate modal speaking pitch (mode intonatif inapproprié), autre.
- 3) Trouble du débit : répétition de syllabes, syllabe anormalement prolongée, syllabe trop courte, pause trop longue, autre.
- 4) Hypernasalité : oui ou non.
- 5) Désordre articulatoire : oui ou non.
- 6) Autre.

Dans un second temps, les auditeurs doivent déterminer les phonèmes mal articulés. Ils disposent de la liste des phrases par écrit et des enregistrements de la lecture des dysarthriques ; ils doivent encercler les phonèmes consonantiques mal articulés. Ils ne doivent pas catégoriser le type d'erreur produite mais seulement identifier le phonème mal articulé. Les auteurs reconnaissent l'apport des travaux de Darley et al. 1969 dans l'établissement d'une méthode d'évaluation de la dysarthrie, car ils spécifient les symptômes de la dysarthrie avec des descriptions telles que « imprecise consonants », (consonnes imprécises), « phonemes prolonged » (prolongation des phonèmes), « irregular articulatory breakdown » (rupture articulatoire irrégulière), « vowels distorted » (distorsion des voyelles), mais remarquent que les

dysfonctionnements concernant le tractus vocal ne sont pas détaillés et c'est pourquoi ils proposent ce type d'évaluation des dysfonctionnements de la parole. Une autre possibilité pour évaluer l'impact des dysfonctionnements articulatoires sur les performances motrices est d'effectuer un test d'intelligibilité. L'intelligibilité est réduite chez les dysarthriques et c'est une caractéristique de la MPI. Le terme d'intelligibilité est défini comme la capacité communicative, autrement dit, le degré avec lequel le locuteur formulant le message est reconnu par l'auditeur. Tikofsky & Tikofsky 1964 cités par Darley et al. 1975 proposent la lecture d'une liste de 160 mots à des dysarthriques ainsi qu'à des sujets contrôles. Des auditeurs doivent écouter les enregistrements et juger de l'intelligibilité des locuteurs selon une échelle préalablement déterminée. La liste réduite à 50 mots de Tikofsky 1970 cité par Darley et al. 1975 présente 9 niveaux de difficulté et semble constituer un outil clinique potentiel d'estimation de l'intelligibilité dysarthrique. Gentil 1992 propose également un test d'intelligibilité mais celui-ci est spécifiquement destiné aux dysarthriques francophones. Ce test s'inspire de celui de Kent et al. 1989 cités par Gentil 1992 développé à l'origine pour l'anglais. Il mesure les sévérités dysarthriques et identifie les déficits d'intelligibilité. Il présente d'importants avantages ; il permet d'identifier les raisons du déficit d'intelligibilité et d'en adapter les programmes de rééducation orthophonique. Il se présente sous la forme d'une liste de mots que le parkinsonien doit lire à haute voix. L'auditeur dispose ensuite de 4 choix de mots pour rendre compte de ce qu'il a entendu. Les listes de choix prennent en compte les contrastes phonétiques susceptibles d'être perturbés. Le test d'intelligibilité au niveau du mot dans lequel le contraste phonétique est introduit, permet l'identification du trait phonétique à l'origine du déficit d'intelligibilité. Keller 1991 cité par Gentil 1992 a également présenté un système, complété par la suite, qui permet d'établir un inventaire des désordres acoustiques rencontrés en contexte de dysarthrie. Ce système effectue des jugements des normalités et des anormalités de parole et indique le niveau de sévérité de la dysarthrie. Les dysarthries sont évaluées de façon clinique selon différents procédés. La dysarthrie parkinsonienne peut être évaluée grâce à une grille d'évaluation de la parole proposée par l'échelle multidimensionnelle d'évaluation spécifique à la maladie de Parkinson, l'UPDRS. En effet l'UPDRS englobe la parole dans les troubles moteurs dont l'observation contribue à l'évaluation de leur degré de sévérité.

Chapitre II  
La production de la parole pathologique : la dysarthrie parkinsonienne

NOM :	Date :	UPDRS =					
Année de naissance :	stable : Oui Non	prédominance : D – G – AH – M – T					
Début de maladie :	début de traitement :	cocher : <input type="checkbox"/> seul <input type="checkbox"/> conjoint <input type="checkbox"/> enfant <input type="checkbox"/> autre					
<b>I) Etat mental, comportemental, thymique</b>		<b>IV) Complications du traitement</b>					
1. affaiblissement intellectuel	0 1 2 3 4	<b>A - DYSKINESIES</b>					
2. troubles de la pensée	0 1 2 3 4	32. durée	0	1	2	3	4
3. dépression	0 1 2 3 4	33. incapacité	0	1	2	3	4
4. motivation-initiative	0 1 2 3 4	34. dyskinésies douloureuses	0	1	2	3	4
		35. dyskinésies matinales précoces	oui = 1		non = 2		
<b>II) activités dans la vie quotidienne</b>		<b>B - FLUCTUATIONS CLINIQUES</b>					
5. parole	0 1 2 3 4	36. périodes off prédictives	oui = 1		non = 2		
6. salivation	0 1 2 3 4	37. périodes off non prédictives	oui = 1		non = 2		
7. déglutition	0 1 2 3 4	38. périodes off brutales	oui = 1		non = 2		
8. écriture	0 1 2 3 4	39. proportion de off	0	1	2	3	4
9. s'alimenter	0 1 2 3 4	<b>C - AUTRES COMPLICATIONS</b>					
10. habillement	0 1 2 3 4	40. anorexie, nausées, vomissements	oui = 1		non = 2		
11. hygiène	0 1 2 3 4	41. insomnies, somnolence	oui = 1		non = 2		
12. se retourner dans le lit	0 1 2 3 4	42. hypotension orthostatique	oui = 1		non = 2		
13. chutes non liées au piétinement	0 1 2 3 4	<b>Stades de HOEHN et YAHR</b>					
14. piétinement	0 1 2 3 4	Stades : 0 – 1 – 1,5 – 2 – 2,5 – 3 – 4 – 5					
15. marche	0 1 2 3 4	<b>AVQ – SCHWAB et ENGLAND</b>					
16. tremblement	0 1 2 3 4	100% - totalement indépendant					
17. douleurs	0 1 2 3 4	90% - indépendant mais plus lent					
<b>III) examen moteur</b>		80% - indépendant conscient de sa lenteur					
18. parole	0 1 2 3 4	70% - pas tout à fait indépendant (3 à 4 fois + lent)					
19. expression faciale	0 1 2 3 4	60% - partiellement dépendant					
20. tremblement de repos	0 1 2 3 4	50% - aidé dans 50% des activités					
21. tremblement d'action	0 1 2 3 4	40% - très dépendant					
22. rigidité	0 1 2 3 4	30% - peu d'activités effectuées seul					
23. tapotement des doigts	0 1 2 3 4	20% - ne fait rien seul – aidé légèrement					
24. mouvements des mains	0 1 2 3 4	10% - alité – totalement dépendant					
25. mouvements alternatifs	0 1 2 3 4	0% : alité – troubles végétatifs					
26. agilité de la jambe	0 1 2 3 4						
27. se lever d'une chaise	0 1 2 3 4						
28. posture	0 1 2 3 4						
29. stabilité posturale	0 1 2 3 4						
30. démarche	0 1 2 3 4						
31. bradykinésie	0 1 2 3 4						

Figure 8 : Echelle Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS), Fahn & Elton 1987

La section III de l'UPDRS est consacrée à l'examen moteur, la parole faisant partie des activités motrices est évaluée à la sous-section 18. L'UPDRS ou Unified Parkinson's disease rating scale (Fahn, Elton & members of the UPDRS Development committee 1987) est une échelle non indispensable au diagnostic mais utile pour le suivi de la maladie de Parkinson. Elle est le résultat d'un atelier de travail en 1984 regroupant les principaux spécialistes mondiaux de la MPI et représente l'outil le mieux validé (Conférence de consensus sur la maladie de Parkinson 2000).

La maladie de Parkinson étant une maladie évolutive, son évaluation doit être perpétuellement remise en question. L'UPDRS permet le suivi de la maladie car il est reproductible autant de fois que nécessaire. Un autre avantage de l'UPDRS est que son échelle présente une faible variabilité entre les différents observateurs, mais la partie concernant la parole reste néanmoins assez succincte. La parole est évaluée perceptivement selon une échelle de 0 à 4 selon le barème suivant : 0 = normal, 1 = légères pertes d'expression, de diction et/ou de volume, 2 = monotone, marmonnement mais compréhensible, altération modérée, 3 = altération marquée, difficulté de compréhension, 4 = inintelligible. Cette échelle est largement utilisée par les cliniciens. Les premières analyses objectives constituent d'importants progrès quant à la description de la parole des patients. Elles constituent un complément aux évaluations perceptives en proposant des données quantifiables. Elles peuvent être une aide aux évaluations cliniques et être également utilisées pour tester les effets des traitements proposés aux patients sur la parole (Kent et al. 1999). Cependant, les progrès des études acoustiques de la dysarthrie ont été lents pour différentes raisons ; peu d'études se sont intéressées aux désordres neurogéniques de la parole (Strand & Yorkston 1994 cités par Kent et al. 1999). D'autre part les analyses acoustiques présentent des problèmes méthodologiques face à des locuteurs qui ont des problèmes phonatoires, d'hypernasalité, d'articulation imprécise et autres, de plus, peu de publications d'études acoustiques ayant pour objet direct la dysarthrie sont disponibles. Kent et al. 1999 remarquent que des progrès ont été fait depuis la fin des années 80 concernant la publication d'études acoustiques sur la dysarthrie mais que la grande majorité se concentre sur un petit échantillon de mesures et généralement sur un très petit nombre de sujets. Aujourd'hui, avec la prise en charge orthophonique des parkinsoniens qui s'avère plus fréquente, d'autres échelles d'évaluation de la dysarthrie ont été mises en place par et pour les orthophonistes afin de disposer d'un outil d'estimation des troubles de la parole et d'ajuster leur programme de rééducation orthophonique. Ces échelles ont l'avantage de pouvoir être facilement et relativement rapidement mises en place. Le livre « Les dysarthries » de Auzou et al. 2001 publié par l'association « Entretiens de Rééducation et Réadaptations Fonctionnelles » de Montpellier s'adresse aux orthophonistes et cliniciens de façon pédagogique. Il propose, entre autres, différentes grilles d'évaluation ciblant différents aspects de la parole ; évaluation générale de la dysarthrie, évaluation clinique de la voix, évaluation de l'intelligibilité : présentation du Test Lillois de Dysarthrie (TLD), évaluation objective des dysarthries : méthodes acoustiques et

aérodynamiques, évaluation objective de la prosodie, évaluation clinique de la dysarthrie (ECD) : analyse des organes. En 2003 Auzou et al. proposent une évaluation clinique de la dysarthrie ou ECD, adaptée des travaux d'Enderby, se présentant sous forme d'une grille. Elle comporte 28 épreuves. 25 épreuves évaluent les fonctions impliquées dans la parole (3 épreuves pour les activités réflexes, 3 pour la respiration, 5 pour les lèvres, 2 pour les mâchoires, 3 pour le voile du palais, 3 pour le larynx et 6 pour la langue) et 3 épreuves mesurent l'intelligibilité (2 épreuves de lecture de mots et de phrases et 1 épreuve conversationnelle).

### **I.5. La variabilité de la dysarthrie**

L'expression de la dysarthrie peut prendre différentes formes et la variabilité inter-sujet des dysfonctionnements de la parole est une caractéristique reconnue de la dysarthrie. Les dysfonctionnements de la parole apparaissent chez les dysarthriques à un degré et une fréquence variables. La dysarthrie peut avoir des effets sur les différentes composantes du système de production de la parole telles que la respiration, la phonation, l'articulation et la résonance. Les répercussions peuvent se faire ressentir au niveau des différents aspects de la parole que sont la qualité de la voix, l'intelligibilité, la prosodie et l'affect. Metter & Hanson 1986 remarquent que Darley et al. 1975 abordent les dysfonctionnements de la dysarthrie hypokinétique comme des symptômes uniformes de la maladie de Parkinson alors qu'on leur reconnaît différents stades de sévérité. En effet, l'apparition des symptômes est assez tardive au cours de l'évolution de la maladie de Parkinson, il est donc assez fréquent que le diagnostic soit établi lorsque le patient présente déjà une durée de maladie de plusieurs années. La dysarthrie parkinsonienne ne peut pas être décrite sans prendre en compte la nature évolutive de la maladie de Parkinson. Metter & Hanson 1986 rapportent que la parole peut être très variable chez les parkinsoniens présentant une légère dysarthrie, en particulier au niveau des mesures du débit de parole, de la fréquence fondamentale et de l'intensité vocale. Cette variabilité est constatée également au niveau des perturbations d'autres fonctions motrices. Malheureusement, pour différentes raisons, les études observant la dysarthrie concernent le plus souvent une sélection de patients présentant une dysarthrie sévère. Les recherches ont montré que, indépendamment de l'avancée de la maladie, des facteurs tels que l'âge et le sexe ont des influences sur la dysarthrie. Selon Van Mourik et al. 1997 cités par Kent 2000 la dysarthrie varie en fonction de l'âge. Les auteurs montrent qu'il est difficile de définir des similarités entre la dysarthrie infantile qu'ils observent auprès d'enfants atteints de tumeur cérébrale et la dysarthrie adulte. Le facteur de variation lié au sexe a été

Chapitre II  
La production de la parole pathologique : la dysarthrie parkinsonienne

également repéré, de nombreuses études y font référence (Hertrich et al. 1998, Kent et al. 1992 cités par Kent 2000). Le système de production de la parole présente en effet un dimorphisme lié à la différence de sexe, ce facteur de variation est donc prévisible et il est plus spectaculaire au niveau de la parole qu'au niveau d'autres activités motrices (Kent 2000). Les descriptions et les classifications de la dysarthrie doivent rendre compte de cette variabilité due au degré de sévérité de la maladie, à l'âge et au sexe du dysarthrique.

***Pour résumer...***

Les dysarthries constituent un ensemble de troubles moteurs de la parole qui résultent d'atteintes neurologiques. Elles sont très révélatrices des activités cérébrales mises en œuvre pendant l'activité de production de la parole. La réduction de l'intelligibilité est une perturbation commune aux différentes formes de dysarthries. Toutes les composantes de la parole peuvent être affectées à différents degrés. On retient 7 types de dysarthries dont la sévérité peut être évaluée cliniquement par des tests de perception ou d'intelligibilité. La variabilité inter- et intra-sujet de la parole dysarthrique est très importante et constitue une caractéristique reconnue qu'il faut prendre en compte afin de mieux la comprendre.

## **II. La dysarthrie parkinsonienne**

La dysarthrie parkinsonienne est une des plus complexes qui soit (Uziel et al. 1975), en effet, les mécanismes qui la régissent ne sont pas encore complètement élucidés. Généralement la dysarthrie a des effets sur les systèmes de production de la parole au niveau de la respiration, phonation, articulation et résonance. La dysarthrie affecte différents aspects de la parole tels que la qualité de la voix, l'intelligibilité, la prosodie et l'affect.

### **II.1. Physiopathologie de la dysarthrie parkinsonienne**

La dégénérescence progressive des neurones nigrostriataux dopaminergiques de la substance noire vers le striatum est à l'origine du dysfonctionnement des ganglions de la base. La dénervation nigrostriatale donne lieu à l'apparition des symptômes moteurs parkinsoniens ainsi qu'à la perturbation de la parole. Les dégâts au niveau de la fonction neuromusculaire sont à la base de la dysarthrie en contexte de maladie de Parkinson. La progression de la maladie de Parkinson en même temps que celle de la dysarthrie suggère une aggravation progressive de la sévérité des lésions cérébrales non-dopaminergiques (Bonnet et al. 1987 cités par Pinto et al. 2004). La production de la parole sollicite l'aire motrice supplémentaire ou le cortex simple antérieur pour générer la parole (MacNeilage et al. 2001 cités par Pinto et al. 2004) et l'hémisphère gauche pour la planification des mouvements articulatoires de la parole (Wise et al. 1999, Dronkers 1996 cités par Pinto et al. 2004). Les mouvements de la parole sont initiés par le cortex moteur primaire (Wise et al. 1999 cités par Pinto et al. 2004). Liotti et al. 2003 cités par Pinto et al. 2004 ont observé des anomalies au niveau des activations cérébrales pendant la production de parole chez des parkinsoniens avec une suractivité du cortex moteur orofacial primaire, du cortex prémoteur latéral inférieur et de l'aire motrice supplémentaire. Pinto et al. 2004 montrent un manque d'activation dans le cortex moteur orofacial droit, une augmentation anormale du flux de sang dans les régions cérébrales du cortex prémoteur supérieur droit et du cortex préfrontal dorsolatéral bilatéral ainsi qu'une suractivité de l'aire motrice supplémentaire. Les auteurs concluent que la dysarthrie parkinsonienne est associée à un dysfonctionnement de la sollicitation des régions motrices cérébrales (cortex moteur orofacial, cerebellum) et à une augmentation de la participation des cortex prémoteur et préfrontal (cortex préfrontal dorsolatéral bilatéral, aire motrice supplémentaire, cortex supérieur prémoteur). Ces activations anormales sont différentes de celles observées pendant les tâches motrices des mains et peuvent

être le résultat de mécanismes compensatoires ou faire directement partie de la physiopathologie de la maladie de Parkinson (Pinto et al. 2004). D'autre part, Ho et al. 2001 qui examinent l'intensité de la parole parkinsonienne à travers deux tâches de production de parole ; voyelle tenue et lecture de phrases auprès de 6 parkinsoniens concluent sur l'évidence d'une instabilité motrice à l'intérieur du système moteur de parole liée à la maladie de Parkinson. Les auteurs proposent l'hypothèse suivante : le contrôle des séquences motrices complexes des forces à l'origine des mouvements de la parole et des mouvements des membres serait affecté par un déficit commun dans le circuit frontostriatal.

## **II.2. Les troubles moteurs parkinsoniens associés à la dysarthrie**

Le triptyque des troubles moteurs parkinsoniens est le tremblement, l'hypertonie (raideur musculaire) et l'akinésie (perte de la spontanéité, de l'agilité et de la rapidité des gestes). Ces symptômes se traduisent au niveau des membres et des dysfonctionnements caractéristiques affectent l'activité de parole. Ce sont les répercussions de la maladie sur l'activité de parole que l'on désigne sous le terme de « dysarthrie ». La dysarthrie parkinsonienne, qui touche 90 % des patients à plus ou moins long terme (conférence de consensus sur la maladie de Parkinson, 2000), résulte de l'akinésie et de l'hypertonie ; le tremblement ne l'affecte pas car il s'agit d'un tremblement de repos qui cesse lorsque les muscles sont sollicités. 80% des parkinsoniens développent des problèmes liés à une réduction de la variation et de l'intensité vocale, une monotonie prosodique et une articulation imprécise (conférence de consensus sur la maladie de Parkinson, 2000). La dynamique respiratoire est très affectée au cours de la maladie de Parkinson. Canter 1965 cité par Uziel et al. 1975 avait déjà mentionné une réduction significative de l'activité ventilatoire chez les parkinsoniens. De plus, de nombreuses études (Gentil et al. 1995) relèvent plusieurs caractéristiques de la dysarthrie parkinsonienne qui pourraient être dues à des anomalies respiratoires.

## **II.3. Une dysarthrie hypokinétique**

La dysarthrie parkinsonienne est une dysarthrie hypokinétique ; elle correspond à une production de parole « pauvre en mouvements ». La dysarthrie hypokinétique se manifeste par des mouvements articulatoires de faible amplitude. Une perte de la vélocité et de la régularité affecte les performances de la langue alors que pour les lèvres et les mâchoires la vélocité paraît maintenue. Le voile du palais peut être perturbé selon le type de dysarthrie, mais c'est rarement le

cas au cours de la maladie de Parkinson. Une hypersalivation peut se déclarer chez les parkinsoniens qui présentent des troubles de la déglutition. Les troubles de la parole chez les parkinsoniens varient selon les cas, mais sont caractérisés par des mouvements réduits des organes articulatoires et phonatoires propres à la dysarthrie hypokinétique. La dysarthrie hypokinétique est une conséquence reconnue et récurrente de la maladie de Parkinson. Dans le cas de pathologie clinique de la parole, 98% des patients présentant une dysarthrie hypokinétique sont des parkinsoniens (Berry 1983 cité par Harel et al. 2004). La dysarthrie hypokinétique permet de confirmer le diagnostic neurologique de la maladie de Parkinson et elle est parfois l'unique signe précurseur de la maladie (Duffy 1995 cité par Harel et al. 2004). Le degré de sévérité des différents troubles recensés chez les parkinsoniens est différent pour chaque individu. Dans la majorité des cas de lésion cérébrale les répercussions sont directement observables au niveau des aspects moteurs de la parole. D'autre part, une certaine similarité des données acoustiques se présente entre les patients atteints de maladie de Parkinson et ceux atteints de paralysie supranucléaire progressive (PSP) (Metter & Hanson 1986). Cette observation suggère que la dysarthrie hypokinétique n'est pas liée à une maladie spécifique mais reflète les anomalies de fonctionnement de structures cérébrales qui sont communes à plus d'une maladie. La présence de la dysarthrie hypokinétique est associée aux caractéristiques spécifiques de la maladie de Parkinson mais peut en être indépendante. De plus, Metter & Hanson 1986 montrent que, contrairement, la dysarthrie sévère ne se déclare qu'en présence de symptômes cliniques bénins. Le manque de relation rigoureuse entre des caractéristiques cliniques et la dysarthrie suggère que le contrôle des ganglions de la base est différent pour la parole et pour d'autres mouvements. Cette configuration sous-entend des différences dans les localisations spécifiques à l'intérieur des ganglions de la base, des différences dans la physiologie des ganglions de la base pour l'activité de parole et pour d'autres activités motrices, ou des différences dans l'organisation périphérique du système moteur. Chaque noyau des ganglions de la base est anatomiquement uniforme dans sa structure mais des régions spécifiques tendent à recevoir une innervation plus grande provenant des régions corticales spécifiques, et en fait les régions corticales ont des interconnexions corticales qui tendent à innover des régions similaires du caudate et du putamen (Yeterian & Van Hoesen 1978 cités par Metter & Hanson 1986). Si des aires locales des ganglions de la base sont différemment affectées, il peut apparaître différents dysfonctionnements au niveau de la parole. Cette explication permet de comprendre pourquoi des

parkinsoniens peuvent être gravement dysarthriques et ne présenter que quelques symptômes cliniques de la maladie de Parkinson.

#### **II.4. Sévérité de la maladie de Parkinson versus sévérité de la dysarthrie hypokinétique**

Il n'existe pas de relation absolue entre l'étendue de la maladie de Parkinson et la sévérité des troubles dysarthriques. L'étude de Metter & Hanson 1986 observe dans quelle mesure les symptômes parkinsoniens peuvent être associés à la dysarthrie. Les auteurs observent le degré de bradykinésie, rigidité et motilité faciale de 10 parkinsoniens et procèdent à des comparaisons avec le score obtenu à l'évaluation dysarthrique selon la grille de Darley et al. 1975 et ne relèvent aucune corrélation significative. De la même façon et contre toute attente, aucune relation n'est observée entre le tremblement, la dyskinésie, la durée de maladie et la sévérité dysarthrique. Cependant, la dysarthrie qui peut apparaître à n'importe quel stade de la maladie s'empire avec la progression de la maladie vers une perte progressive de la communication et un isolement social (Klawans 1986, Mutch et al. 1986 cités par Pinto et al. 2004). L'état d'un dysarthrique peut être très variable. Des facteurs tels que sévérité de la maladie, sévérité de la dysarthrie, type de tâche de production de parole, condition thérapeutique peuvent contribuer à la variation inter et intra-sujet. La conviction générale est de penser que la sévérité de la dysarthrie augmente avec la durée de maladie. Cependant, il n'y a pas de correspondance significative entre la sévérité de la dysarthrie et la durée de la maladie ni non plus entre la sévérité de la dysarthrie et la sévérité des troubles affectant les membres (Gamboa et al. 1997, Schulz et al. 2000 cités par Schulz 2002, Metter & Hanson 1986). D'autre part, la démence et/ou la dépression peuvent apparaître chez le parkinsonien et contribuer aux troubles de la parole. Un grand nombre de parkinsoniens souffre de dépression mais le degré de dépression n'est pas non plus en corrélation avec la sévérité de la maladie de Parkinson (Poewe & Luginger 1999 cités par Schulz 2002). L'absence de correspondance entre les symptômes des membres et ceux de la parole s'explique par les soubassements neuropathophysiologiques de la maladie de Parkinson. Les ganglions de la base sont organisés en régions distinctes qui sont différemment affectées et qui donnent lieu à des différences au niveau des troubles des membres et de la parole. De plus, le fait que la dopamine puisse être différemment affectée au cours de son trajet à travers les ganglions de la base, le thalamus et le cortex moteur, donne également lieu à des différences entre le système moteur de la parole et celui des membres.

***Pour résumer...***

La maladie de Parkinson est associée à une dysarthrie hypokinétique dont la présence a été également rapportée dans d'autres contextes. Généralement, la dysarthrie hypokinétique se caractérise par une réduction de l'amplitude, de la vitesse et de la précision des gestes articulatoires. Ce dysfonctionnement a de nombreuses conséquences au niveau de la production de parole. Chacune des composantes de la production de la parole ; respiration, phonation, articulation, résonance et prosodie peut être affectée par la dysarthrie hypokinétique. L'importance des perturbations touchant chacune de ces composantes varie d'une personne à l'autre et évolue pour une même personne au cours du temps mais n'est pas en corrélation directe avec le degré de sévérité de la maladie.

### **III. La description perceptive de la dysarthrie parkinsonienne**

Selon Darley et al. 1975 certaines études donnent beaucoup d'informations à propos des dysfonctionnements neurologiques de la parole en procédant seulement à des écoutes d'échantillons de la parole dysarthrique. Ces études considèrent l'oreille comme l'outil le mieux adapté à la détection et à l'interprétation des effets des dysfonctionnements neurologiques sur la parole. Néanmoins, les techniques instrumentales proposent des données quantifiables qui permettent une analyse objective de ce que l'on entend, elles peuvent confirmer les hypothèses concernant les fonctions neuromusculaires sous-jacentes aux désordres et vérifier expérimentalement les hypothèses provenant des analyses perceptuelles. Les études perceptives ont souvent été abordées par des cliniciens non phonéticiens et sans collaboration avec des spécialistes de la parole. De ce fait la terminologie employée ne correspond pas toujours à celle reconnue par la phonétique. Certains termes ont été choisis naturellement parce qu'ils rendent compte d'une qualité perceptive et d'autres parce qu'ils renvoient à une caractéristique articulatoire audible. Cependant, bien souvent le terme utilisé n'est pas satisfaisant parce qu'il manque de précision. La terminologie perceptive est foisonnante, elle décrit parfois différemment des réalisations semblables sur le plan acoustique et inversement, un terme unique peut renvoyer à des phénomènes différents. C'est en prenant en considération cette remarque que nous allons voir comment la parole parkinsonienne est décrite de façon perceptive. L'une des limites de l'évaluation perceptive est la difficulté pour l'auditeur à différencier les dimensions multiples des altérations dysarthriques. La personne dysarthrique présente fréquemment des désordres simultanés de respiration, phonation, articulation et résonance, par conséquent, les méthodes perceptives décident parfois de compléter leurs observations par des analyses acoustiques (Darley et al. 1975), des enregistrements de données aérodynamiques (Gracco et al. 1992) ou des relevés de mouvements des organes articulatoires de la parole (Forrest et al. 1989). Ces outils supplémentaires permettent non seulement, de constater les fonctions des constituants de la production de parole mais ils peuvent aussi être utilisés pour détecter les traits pathophysiologiques tels que faiblesse, rigidité, lenteur ou problème de coordination. Ces méthodes sont généralement utilisées dans la continuité de ce qui a déjà été établi depuis Darley et al. en 1969 parce que ces travaux constituent la base de toute la recherche concernant la dysarthrie. Les deux termes "voix" et "parole" sont parfois utilisés sans distinction par les cliniciens. Il se peut également que certains adjectifs destinés à qualifier la voix soient parfois utilisés pour décrire la

parole. Il est toutefois nécessaire de réserver le terme de "voix" aux sons voisés de la parole, c'est-à-dire aux sons produits par la vibration des cordes vocales, la parole englobant les sons voisés et non voisés.

### **III.1. La parole : volume, débit et prosodie**

La parole dysarthrique est parfois qualifiée de faible (Adams & Lang 1992, Ramig 1995 cités par Gentil et al. 2001, Boshes et al. 1960, Pollak et al. 1989, Sabouraud 1970, Selby 1968 cités par Gentil et al. 1995, Darley et al. 1975, Harel et al. 2004) sous-entendant une diminution globale du volume vocal. Afin de décrire le faible volume de parole des parkinsoniens, l'expression "parler doucement" est utilisée or cette expression porte à confusion car elle renvoie aussi au fait de parler lentement, c'est-à-dire avec un débit de parole lent. Lorsqu'on décrit un volume de parole bas, on décrit une réduction de l'intensité de la voix (en dB). La forme majeure de la diminution du volume de parole correspond au « chuchotement » pour Segulier et al. 1974 qui l'observent chez 10% des parkinsoniens ayant participé à leur étude. De nombreux auteurs parlent également de « chuchotement » (Sabouraud 1970, Boshes et al. 1960, Boshes 1966, Peacher 1953, Buck & Cooper 1956, Hemmer et al 1969, Torre 1960 cités par Segulier et al. 1974). Cependant, sur le plan acoustique la réalisation du chuchotement correspond à un phénomène très précis et distinct qui est repérable sur les documents acoustiques. Il s'agit d'une configuration spécifique de la glotte ; les cordes vocales ne sont ouvertes que dans leur partie postérieure qui forme un triangle et le flux d'air produit un bruit de friction. Les phonéticiens n'emploient le terme de « chuchotement » que pour référer à ce mode phonatoire précis dont les analyses perceptives ne peuvent pas garantir la présence. Le volume de parole est une propriété perceptive qui dépend de l'amplitude des variations de la pression de l'air, autrement dit de l'intensité de la voix qui est mesurée en dB. La prosodie est la dimension la plus perturbée en contexte de dysarthrie hypokinétique et a des répercussions directes sur l'intelligibilité des parkinsoniens (Darley et al. 1975). Les travaux de Darley, Aronson & Brown (Mayo Clinic) ont adopté le terme de « prosodic insufficiency » (insuffisance prosodique) en contexte de dysarthrie parkinsonienne. Le débit de la parole dysarthrique peut être plus ou moins perturbé. Les parkinsoniens présentent un débit plus variable que les sujets témoins (Boshes 1966, Canter 1963 cités par Schulz & Grant 2000). Logemann et al. 1978 rapportent que 20 % des 200 parkinsoniens ayant participé à leur étude présentent des troubles du débit avec des phénomènes tels que répétition de syllabes, prolongation anormale de syllabes, syllabes trop courtes et pauses trop longues. La confrontation

des différentes études observant le débit de parole dysarthrique révèle qu'il existe deux groupes de parkinsoniens ; ceux qui ont un débit globalement rapide et ceux qui ont un débit globalement lent, tous deux perturbés par des phénomènes diverses qui seront détaillés par les études acoustiques (voir § IV.2.3.b). La vitesse de parole des parkinsoniens est très aléatoire et varie considérablement d'un sujet à l'autre mais elle est pour la majorité des parkinsoniens reconnue comme perturbée. Aucune tendance générale n'est retenue et les études perceptives et instrumentales sont souvent en contradiction à ce sujet. Alors que Kreul 1972 et Kammermeier 1969 cités par Darley et al. 1975 rapportent un débit de parole réduit chez les parkinsoniens, les travaux de Darley et al. 1975 jugent perceptivement la vitesse de parole de plusieurs groupes de sujets de perturbations neurologiques différentes et le groupe des parkinsoniens est le seul à donner l'impression d'un débit de parole plutôt rapide que normal. Cette observation est en relation avec le phénomène de festination de la parole « festinant » or « festinating » qui a été décrit par de nombreux auteurs. Il s'agit d'une accélération du débit de parole surtout en fin de phrase qui compromet l'intelligibilité et qui ressemble à « un ronronnement ou à un murmure doux et dysphonique » selon Grewel 1957 cité par Darley et al. 1975. L'impression de festination de la parole peut être aussi donnée par un procédé différent : la production de parole en petites rafales séparées par des pauses à des emplacements illogiques par rapport à ce qui est dit, dans ce cas c'est le terme de « short rushes of speech » qui est utilisé. Cette très rapide répétition de mouvements articulatoires d'une amplitude très réduite est observée uniquement chez les parkinsoniens selon Darley et al. 1975. Le rythme de la parole parkinsonienne est décousu, ponctué d'hésitations et de temps d'arrêt (Darley et al. 1975) ainsi que d'accélération soudaines du débit (Illes 1989, Netsell et al. 1975 cités par Gentil et al. 2001). Darley et al. 1975 mettent en corrélation le fait que la plupart des parkinsoniens réalisent des silences inappropriés et la difficulté dont ils souffrent au démarrage des mouvements articulatoires. D'autre part, ils observent chez la moitié des parkinsoniens ayant participé à leurs travaux, une tendance à répéter les phonèmes en position initiale qui exprime la difficulté à initier la phonation rendant difficile le maintien d'une production fluente. Par contre, le phénomène de palilalie qui consiste en une répétition compulsive de phrases entières ou de segments de phrase n'est observé chez aucun des parkinsoniens ; les auteurs en font la description chez des personnes atteintes d'autres troubles neurologiques. La respiration a des conséquences directes sur le volume et le débit de la parole. La gestion du souffle apparaît être laborieuse chez les parkinsoniens qui semblent être à tout

moment essoufflés. Les études perceptives n'observent que très rarement le système respiration qui est plutôt étudié par des analyses instrumentales. L'observation de la durée, de la fréquence et du moment d'apparition des pauses est également un bon indice de la gestion du souffle pendant la production de parole. Les travaux de Darley et al. 1975 observent des silences inappropriés chez 25 des 32 parkinsoniens ayant participé à leur étude. Ce phénomène constitue pour eux une preuve de la difficulté des parkinsoniens à initier la phonation et à coordonner cette initiation avec celle des mouvements articulatoires. Certaines études font état de l'aspect nasal de la parole parkinsonienne mais peu en donnent une description détaillée. Darley et al. 1975 mentionnent une impression d'« hypernasalité » d'un degré mineur chez 8 des 32 parkinsoniens ayant participé à leurs travaux, mais remarquent qu'aucun ne produit de débit d'air nasal pendant la production de parole.

### **III.2. La voix : qualité, timbre, hauteur et intensité**

L'atteinte de la qualité de la voix est une caractéristique reconnue de la dysarthrie (Darley et al. 1969, Duffy 1995 cités par Kent et al. 1999). Il existe une grande variabilité entre les sujets, toutefois, la voix parkinsonienne est souvent perçue comme rauque (Darley et al. 1969, Logeman et al. 1978 cités par Gentil et al. 1995, Segulier et al. 1974, Buck & Cooper 1956 cités par Segulier et al. 1974) voire voilée, soufflée ou murmurée. Chez les auteurs anglophones, on retrouve la désignation de « breathy or rough voice quality », « breathiness and harshness of voice » ou « breathy and harsh voice » (Darley et al. 1969, Hanson et al. 1984, Logemann et al. 1978 cités par Gentil et al. 2001, Darley et al. 1975) décrivant une voix murmurée ou soufflée et rauque. Le murmure correspond à une réalisation phonatoire proche de celle du chuchotement ou « whisper » mais le larynx est très tendu pour la voix murmurée avec des cordes vocales qui vibrent sans se rencontrer et qui produisent une voix dans les basses fréquences alors qu'elles se trouvent en position triangulaire pour une voix chuchotée. Pour Darley et al. 1975, il existe deux types de perturbation de la qualité de la voix ; « harshness » (rauque) et « continuous breathiness (murmurée). Lorsqu'on parle de « breathy voice » ou « breathiness of voice » il peut s'agir soit de la qualité de la voix, soit d'un mode phonatoire particulier. Ces deux déviations ainsi que la présence d'une voix dans les basses fréquences sont attribuées à la rigidité des muscles laryngés du parkinsonien, selon Darley et al. 1975, p195 : « the occurrence of breathiness, harshness of voice, and low pitch has already been attributed to rigidity of laryngeal musculature ». Perceptivement, une voix « breathiness » murmurée, « whisper » chuchotée, « hoarseness » ou

« harshness » rauque présente de légères différences difficilement identifiables. Sur le plan acoustique, « breathiness » correspond à des turbulences du flux d'air dues à une fermeture glottique incomplète, « harshness » reflète des vibrations des cordes vocales irrégulières et asymétriques avec parfois vibration des fausses cordes vocales et « hoarseness » est un degré de « harshness ». L'étude de Logemann et al. 1978 propose le test de compétence articulatoire (Logemann & Fisher 1971) à 200 parkinsoniens et fait apparaître que 89 % des parkinsoniens présentent des désordres au niveau de la voix tels que « breathiness, hoarseness, roughness, tremulousness » (murmure, rauque, grave, tremblotante). Cette observation permet aux auteurs de conclure que l'altération de la voix est une anomalie plus fréquente que celle des troubles articulatoires en contexte de dysarthrie parkinsonienne. De plus, 45 % des parkinsoniens ayant participé à l'étude présentent un dysfonctionnement laryngé comme unique symptôme de la dysarthrie sans problème articulatoire parallèle. Par contre, tous les parkinsoniens souffrant de problèmes articulatoires montrent également un dysfonctionnement laryngé. Les auteurs font l'hypothèse d'un processus de détérioration de la parole hiérarchique qui commencerait par les symptômes laryngés tels que voix murmurée et rauque et se terminerait par les problèmes articulatoires. Segulier et al. 1974 parlent du timbre de la voix mais il semblerait qu'ils se réfèrent en fait à la qualité de la voix. Ils affirment que l'altération du timbre est présente chez 62% des sujets qu'ils observent mais ne donnent pas de détail sur l'obtention de ce pourcentage. Ils décrivent le timbre de la voix parkinsonienne comme pauvre, la pauvreté du timbre est de 11% chez Segulier et al. 1974 qui encore une fois n'expliquent pas à quoi ces données se réfèrent. Quelques auteurs parlent de « nasal quality of the voice » autrement dit d'une impression de nasalité donnée par la pauvreté du timbre (Dejerine 1914 cité par Segulier et al. 1974) mais l'apparition occasionnelle de ce phénomène n'a jamais été reconnue comme caractéristique de la dysarthrie parkinsonienne. Buck & Cooper 1956 cités par Segulier et al. 1974 parlent de « tremulous quality of the voice » et Segulier et al. 1974 confirment cette présence de voix tremblante dans 32% des sujets qu'ils observent. La voix chevrotante telle qu'elle est décrite par Uziel et al. 1975 résulte de la production de voix selon une configuration spécifique des cordes vocales qui ne vibrent que sur leur partie postérieure. L'examen laryngoscopique révèle une hypertonie des cordes vocales et une diminution de leur surface d'accolement. Cette réalisation est en relation avec la raucité du timbre et avec les variations anormales d'intensité. Selon Segulier et al. 1974 les altérations du timbre sont attribuables à une réduction de la mobilité des

cordes vocales. Grâce à l'examen laryngoscopique qui vient compléter leur étude perceptive, nous pouvons constater que ce dysfonctionnement ne correspond pas à la production de « creaky voice » ou « laryngealized voice » (voix craquée) qui est réalisée avec des cartilages aryténoïdes très serrés l'un sur l'autre ne permettant la vibration des cordes vocales que dans leur partie antérieure. Il ne s'agit pas non plus de voix murmurée qui nécessite un important flux d'air permettant aux cordes vocales restées éloignées l'une de l'autre de réaliser des sortes de battements. La voix peut être décrite comme chevrotante en relation avec l'apparition de façon permanente ou par intermittence de variations anormales de l'intensité (Seguier et al. 1974, Buck & Cooper 1956 cités par Seguier et al. 1974). Certains parlent de voix tremblante dans ce même contexte (Dejerine 1914 cité par Seguier et al. 1974, Buck & Cooper 1956 cités par Gentil et al. 1995, Seguier et al. 1974). D'autre part, la plupart des auteurs rapportent une intensité de la voix réduite « reduced loudness », une monotonie de l'intensité de la voix « monotony of loudness », ainsi qu'une monotonie de hauteur de la voix « monotony of pitch » associée à une réduction de l'accentuation et de l'emphase « reduction of stress and emphasis » (Aronson 1990, Brin et al. 1992, Cummings et al. 1988, Adams & Lang 1992, Ramig 1995 cités par Gentil et al. 2001, Darley et al. 1975). A propos de l'aspect mélodique de la parole parkinsonienne, les auditeurs sont unanimes; elle donne une impression de monotonie générale avec une disparition des intonations. Harel et al. 2004 parlent de cet aspect en terme d'absence d'inflexion. Le terme de monotone est souvent utilisé pour caractériser la voix des parkinsoniens ; il s'agit d'un défaut de mélodie avec un manque de variations de hauteur ou d'intensité sonore. Par contre, certains observent une voix dans les hautes fréquences (aiguë) comme Nielsen 1951 cité par Darley et al. 1975 qui rapporte « high pitched and monotonous » (hautes fréquences et monotone) et d'autres une voix dans les basses fréquences (grave) comme Grinker & Sahs 1966 cités par Darley et al. 1975 qui affirment que « the voice takes on a low pitched, monotonous quality » (la voix est dans les basses fréquences et de qualité monotone). La hauteur de la voix n'est pas jugée particulièrement affectée par les travaux de la Mayo Clinic (Darley, Aronson & Brown) qui reconnaissent tout de même une voix à tendance dans les basses fréquences. Certaines descriptions perceptives utilisent aussi les termes de voix "aiguë, altérée, cassée, éraillée, essoufflée, étranglée, fatiguée, grêle, haletante, inexpressive, plaintive, sifflante, soufflée, stridente, tremblotante, usée, vacillante, vieille, voilée, ..." sans spécifier à quoi se réfèrent ses adjectifs. Il s'agit principalement d'une tentative de mettre un adjectif sur une impression

auditive mais cette procédure ne permet pas de comprendre comment se réalise la parole pathologique. Nous pouvons retenir le fait que la qualité de voix des parkinsoniens n'est pas constante et que la voix est rauque dans la majorité des cas. Les perturbations qui affectent la voix sont parfois assez mal décrites. L'étude de Uziel et al. 1975 présente de nombreux aspects critiquables. Elle évalue la fréquence des troubles de la phonation de la maladie de Parkinson à partir de 120 cas de personnes reçues en consultation et de dossiers. Les auteurs ne donnent pas de précision quant aux techniques qui ont été utilisées afin d'observer les troubles de la phonation des parkinsoniens, ni de ce qu'ils désignent sous le terme de « trouble de la phonation ». La fréquence des troubles de la phonation a été calculée sur 120 parkinsoniens : 42% ne présentent aucun trouble de la phonation. Parmi les 58% qui présentent des troubles 20% sont améliorés par le traitement à la L-dopa. Les auteurs ne décrivent pas en quoi consistent les améliorations des troubles de la phonation et nous ne savons pas dans quelles conditions ont été établies ces analyses. La conclusion de leur étude déclare que la dysarthrie n'est pas un symptôme rare de la maladie de Parkinson et que l'efficacité de la L-dopa est très relative. Mais cette étude fait partie des premières à visée descriptive de la dysarthrie parkinsonienne.

### **III.3. Fréquence des troubles**

Bien que la perception de la voix soit subjective, tous les auditeurs rapportent une impression de voix pathologique lorsqu'ils entendent de la parole parkinsonienne. L'oreille est sensible au fait que les dysfonctionnements se répandent sur les différentes composantes de la prosodie (hauteur, intensité et durée) et que tous les paramètres de la parole semblent être perturbés en contexte de maladie de Parkinson. En effet, on peut dire que les parkinsoniens produisent de la parole plus ou moins difficile à comprendre et à suivre surtout à cause de la perturbation de la prosodie qui affecte l'intelligibilité. D'ailleurs, beaucoup d'études déclarent que le trouble prédominant de la parole parkinsonienne est une aprosodie avec un dysfonctionnement perturbant les trois paramètres vocaux : hauteur, intensité et durée. La plupart des auteurs relève des anomalies de prosodie (Ackermann & Ziegler 1991, Caebeke et al. 1991, Artman & Abbs 1988, Darley et al. 1969, Kent & Rosenbek 1982, Monrad-Krohn 1947, Scott et al. 1984 cités par Gentil et al. 1995). Comme nous l'avons déjà dit plus haut, les caractéristiques de la parole parkinsonienne varient d'un sujet à l'autre, toutefois nous pouvons distinguer les troubles qui se révèlent être récurrents et ceux qui semblent être plus occasionnels et/ou réservés à un stade plus avancé de la maladie. Uziel et al. 1975, procèdent à l'examen clinique de 18 parkinsoniens francophones et décrivent

les troubles dysarthriques selon deux types de manifestations ; les manifestations permanentes et les manifestations paroxystiques. Les manifestations permanentes consistent en une parole “...de faible intensité, assourdie, continue et monotone avec une diminution de la durée des silences normaux. Le timbre est pauvre, la tonalité dans l'aigu. L'émission syllabique est volontiers saccadée et trémulante. Enfin et surtout, il existe une tachyphémie : le débit vocal est accéléré, les phrases sont prononcées très rapidement et sans transition.” Des manifestations paroxystiques peuvent venir rompre la monotonie de la parole parkinsonienne. Elles sont la palilalie ou écholalie qui est la répétition spontanée involontaire d'un même mot ou d'un même fragment de phrase et la tachyphémie paroxystique ou festination.

### **III.4. Niveau segmental**

L'articulation de la parole parkinsonienne est relâchée voire approximante ou indistincte selon Darley 1969 et cette constatation est partagée par de nombreux auteurs.

#### **III.4.1. Les articulateurs et les résonateurs**

Selon Darley et al. 1975 l'hypokinésie parkinsonienne se manifeste par une diminution de l'efficacité des articulateurs. Pour la production de mouvements simples, l'amplitude et la vitesse des mouvements est réduite. Pour la production de mouvements répétitifs, la vitesse des mouvements est augmentée et l'amplitude ainsi que la force des mouvements sont réduites. Les auteurs examinent le palais mou durant la prolongation de la voyelle /ah/ et déclarent que l'élévation semble normale. En l'absence d'information supplémentaire, nous pouvons supposer que l'examen consiste en fait à une analyse perceptive du fonctionnement du palais mou. Ils observent également les mouvements individuels de la langue et des lèvres. Les mouvements sont globalement lents mais les perturbations s'aggravent lors de répétitions de mouvements rapides. En effet, les auteurs rapportent que pour les répétitions rapides de la syllabe [puh] les lèvres peuvent se fermer et s'ouvrir complètement pour les premières réalisations puis soudainement la fermeture reste incomplète et les syllabes s'enchaînent de cette façon. Pour les répétitions de [tuh] et [kuh] le premier contact entre la langue et les alvéoles n'est pas maintenu et les réalisations s'estompent et perdent leur identité. Chez certains parkinsoniens ce phénomène affecte aussi les syllabes répétées avec un débit de parole normal et les mouvements deviennent de plus en plus lents jusqu'à atteindre un point d'arrêt. En contexte de production de parole en conversation les mêmes caractéristiques sont observées ; une activité orale inadéquate contribue à

la perte de la précision de l'articulation des consonnes et à l'élimination des syllabes. Cisler 1927 cité par Darley et al. 1975 observe chez les parkinsoniens qui ont participé à son étude une inhibition des mouvements de la langue et des lèvres et une efficacité insuffisante du palais mou. Cramer 1940 cité par Darley et al. 1975 observe 6 sujets germanophones et rapporte que des syllabes sont parfois répétées, parfois omises, parfois rajoutées, des phonèmes perdent leur identité, les occlusives sont réalisées comme des fricatives et les voyelles deviennent indifférenciées, enfin les mouvements des muscles de la parole sont considérablement réduits. Logemann et al. 1978 rapportent que sur les 200 parkinsoniens ayant participé à leur étude perceptive, 45 % présentent des désordres articulatoires au niveau de la langue, des lèvres ou de la langue et des lèvres. La passation du test de compétence articulatoire (Logemann et al. 1978) révèle que les erreurs articulatoires se concentrent sur les consonnes obstruantes (voir § suivant). En fait, 13.5 % des 200 parkinsoniens présentent des problèmes articulatoires au niveau des mouvements du dos de la langue, 17 % au niveau des mouvements du dos et de la lame de la langue, 5,5 % au niveau des mouvements du dos et de la lame de la langue ainsi que des lèvres, et 9 % au niveau des mouvements du dos, de la lame et de la pointe de la langue ainsi que des lèvres. Tous les parkinsoniens associent à ces problèmes articulatoires un problème laryngé. D'autre part, 10 % des parkinsoniens présentent un dysfonctionnement de résonance avec phénomène d'hypernasalité. L'articulation imprécise de la dysarthrie hypokinétique affecte surtout les consonnes occlusives (Canter 1965 cité par Schulz 2002, Forrest et al. 1989, Ackermann & Ziegler 1991). D'autre part, selon Logemann et al. 1978, 45 % des parkinsoniens produisent également des consonnes fricatives et des consonnes affriquées mal articulées. La tâche de diadochokinésie est un bon moyen de mettre à l'épreuve la rapidité des mouvements des articulateurs. Les répétitions de [pa], [ta], [ka] et [pataka] sollicitent les mouvements des lèvres, de la pointe et du dos de la langue et montrent une articulation imprécise (Canter 1965, Hirose et al. 1981 cités par Schulz & Grant 2000, Connor et al. 1989).

#### **III.4.2. La production des consonnes**

La mention « imprecise consonants » se retrouve dans de nombreux articles se référant à la dysarthrie parkinsonienne (Canter 1963, 1965, Darley et al. 1969 cités par Schulz & Grant 2000, Darley et al. 1975). En effet, dans la littérature, la réalisation des consonnes est depuis longtemps décrite comme imprécise, voire indistincte (Cramer 1940, Canter 1965, Doshay 1960, Grunwell et al. 1975, Hoberman 1958 cités par Gentil et al. 1995, Darley et al. 1975). Les analyses

perceptives parlent de consonnes indistinctes parce que les occlusives nécessitent une occlusion totale du conduit vocal et, dans le cas de dysarthrie parkinsonienne, elles seraient produites comme des fricatives avec une occlusion partielle s'accompagnant d'un écoulement de l'air pendant la phase de tenue (Weismer 1984 cité par Gentil et al. 1995). Les occlusives seraient réalisées comme des fricatives par les parkinsoniens (Weismer 1984 cité par Gentil et al. 1995) et ce serait l'erreur articulatoire la plus typique de la dysarthrie parkinsonienne (Gentil et al. 1995). Cette erreur articulatoire est mise en évidence par les spectres acoustiques (Kent & Rosenbek 1982, Logemann & Fisher 1981, Weismer 1984 cités par Gentil et al. 1995). Grâce aux études instrumentales le phénomène de spirantisation qui altère la production des occlusives en contexte de dysarthrie parkinsonienne pourra être décrit (voir § IV.2.2.c). Les résultats de l'étude de Logemann et al. 1978 proposant le test de compétence articulatoire à 200 parkinsoniens anglophones montrent que les erreurs articulatoires sont concentrées sur les consonnes obstruantes, c'est-à-dire sur les consonnes occlusives, les fricatives et les affriquées. En fait, ce sont les consonnes qui nécessitent la plus grande degré de constriction de la part du tractus vocal qui sont prioritairement affectées. Selon les auteurs, l'observation des paires /p/ - /b/ et /f/ - /v/ ne laisse apparaître aucun dysfonctionnement concernant l'opposition de voisement. Finalement, les erreurs touchent non pas le mode de voisement mais le lieu et/ou le mode articulatoire. Selon les auteurs, la perturbation touche en priorité les mouvements articulatoires du dos de la langue, puis se répercute sur ceux de la lame de la langue, ensuite sur ceux des lèvres et enfin sur ceux de la pointe de la langue. Cette conclusion n'est pas partagée par tous. Selon Gentil et al. 1995 qui observent la parole dysarthrique auprès de locuteurs francophones, les phonèmes perdent leur identité avec l'altération de leur mode d'articulation et l'exemple le plus fréquent est la réalisation des occlusives comme des fricatives. Les occlusives apico-dentales /t/ et /d/ seraient réalisées comme /s/ et /z/ et les occlusives bilabiales /p/ et /b/ seraient réalisées comme /f/ et /v/. Par contre, selon Logemann & Fisher 1981 cités par Gentil et al. 1995 et Logemann et al. 1978, ce sont les occlusives vélaires /k/ et /g/ qui sont les plus fréquemment mal articulées. Puis, sont altérées également les fricatives alvéolaires /s/ et /z/, les fricatives prépalatales /ʃ/ et /ʒ/, les affriquées /tʃ/ et /dʒ/, les occlusives bilabiales /p/ et /b/, les fricatives labiodentales /f/ et /v/, et enfin les occlusives apico-dentales /t/ et /d/. Canter 1965 et Cramer 1940 cités par Darley et al. 1975 observent également des occlusives réalisées comme des fricatives chez des parkinsoniens anglophones et germanophones. Canter 1965 cité par Darley et al. 1975 vérifie cette impression

auditive à l'aide de tracés spectrographiques et confirme que pendant la production d'occlusives, les bruits de friction sont audibles et la petite pause ainsi que le bruit d'explosion sont souvent absents. Il remarque aussi que certains parkinsoniens omettent la consonne occlusive finale et que d'autres poursuivent le voisement sur des consonnes non voisées se positionnant entre deux voyelles. D'autre part, le phénomène de voisement des consonnes sourdes, souvent mentionné, est attribué à la rigidité du larynx (Weismer 1984 cité par Gentil et al. 1995). Pour Uziel et al. 1975, l'insuffisance articulatoire est nette et s'accompagne d'une difficulté à produire les consonnes explosives et d'une sonorisation occasionnelle des occlusives sourdes.

### **III.5. Une étude perceptive : un exemple détaillé**

Seguier et al. 1974, ont mené une étude perceptive de la voix et de la parole dans la maladie de Parkinson en vue de "... *rechercher l'existence de corrélations entre les troubles acoustiques et la symptomatologie générale de la maladie de Parkinson*". Il est intéressant de détailler cette étude afin de comprendre pourquoi, malgré une méthodologie méticuleusement établie, les résultats resteront en partie subjectifs. Lors de cette étude, 3 auditrices ont écouté et jugé 67 enregistrements de conversations de parkinsoniens francophones sans traitement qui racontent une journée passée à l'hôpital. Les auteurs suivent une méthodologie visant à optimiser les résultats malgré le caractère subjectif de l'étude. Chaque auditrice écoute, dans un premier temps, 10 enregistrements sans échanger avec les autres. Trois semaines plus tard, les trois auditrices réécoutent les mêmes 10 enregistrements avec les mêmes consignes et dans les mêmes conditions, afin de vérifier leur fiabilité par rapport à elles-mêmes. A la troisième écoute, les auditrices confrontent leurs résultats et doivent décider conjointement d'une appréciation définitive. Cette procédure permet de constater un degré de concordance satisfaisant pour chaque auditrice d'un examen à l'autre et de rares différences de jugements entre examinatrices. Les 9 variables descriptives observées ainsi que les possibilités de réponses associées sont : 1) Voix chuchotée : jamais / de temps en temps, 2) Voix chevrotante : jamais / de temps en temps / en permanence, 3) Variations de hauteur : normales / importantes / peu / très peu, 4) Timbre : normal / nasillard / pauvre / voilé-couvert / Breathiness / rauque, 5) Débit : lent / normal / vite / très vite, 6) Caractère du débit : normal / monotone / variable, 7) Débit saccadé : non / oui, 8) Articulation : normale / hyperdifférenciée / explosive / incompréhensible / trouble évident / trouble léger, 9) Conclusion voix : normale / légèrement altérée / moyennement altérée / très altérée / très gravement altérées. Nous pouvons remarquer que les possibilités de réponse sont

imprécises ; il est nécessaire par exemple de savoir différencier « de temps en temps » de « peu » et de « très peu ». Les auditrices ont établi elles-mêmes leurs barèmes qui semblent s'être accordés. Mais on peut se demander dans quelle mesure les résultats pourraient être identiques si l'étude devait être reproduite. De plus, lors du jugement final, les différentes productions de parole sont classées en deux groupes « voix normale » et « voix anormale » et le détail des perturbations n'apparaît plus. Les conclusions concernant l'intensité de la voix montrent que les variations d'intensité de la voix peuvent donner une impression de voix chuchotée ou de voix chevrotante selon leurs fréquences et leurs constances. Les résultats de cette analyse font apparaître que dans 10,5 % des cas, la voix est perçue comme chuchotée, avec une chute d'intensité vocale repérée à la fin des phrases. La voix est chevrotante en permanence dans 8 % des cas et de temps en temps dans 23 % des cas. Le chevrotement correspond dans la majorité des cas à une difficulté d'attaque ou à une phase d'accélération paroxystique de la parole. Le traitement statistique concerne malheureusement des données qui restent subjectives. Toutefois, certaines études perceptuelles rapportent des données similaires quant à la variabilité de l'intensité pour les parkinsoniens et pour les sujets témoins (Canter 1963 cité par Gentil et al. 1995, Metter & Hanson 1986). Les résultats concernant la hauteur de la voix (la mélodie de la parole pour les auteurs) montrent qu'elle est anormale dans 32 % des cas avec des variations restreintes de la hauteur de la voix. Le timbre de la voix n'est normal que dans 17 % des cas. Mais les auteurs n'expliquent pas comment juger de la normalité d'un timbre de voix. Le débit de parole est à la fois rapide et variable, ce qui correspond aux accélérations paroxystiques spécifiques aux parkinsoniens (Claude & Dupuy-Dutemps 1921 cités par Segurier et al. 1974). Ces manifestations sont effectives chez 27 % des cas. De plus, 38 % des cas ont un débit rapide ou très rapide et 5 % des cas ont un débit ralenti. Quant à l'articulation de la parole, les auditeurs la déclarent atteinte dans 43 % des cas. Ils repèrent une articulation très fermée chez 8 sujets, avec une ouverture des lèvres et des mâchoires jugée insuffisante. D'autres sujets présentent des confusions entre voyelles et consonnes sonores mais les consonnes sourdes sont distinctes. Ils remarquent également qu'avec l'accélération du débit, la parole peut devenir "*bredouillée, marmonnée*". Dans un second temps, les auteurs établissent une symptomatologie clinique retenant 7 variables : tremblement, masque facial, akinésie, rigidité, adiadococinésie, acathisie et piétinement. La confrontation des données montre que le masque facial et le piétinement sont significativement plus graves lorsque la voix est anormale. Les auteurs relèvent des relations

entre les troubles phoniatriques et les troubles cliniques. Le piétinement, qui est un piétinement au démarrage et au franchissement de certains obstacles réels ou symboliques est comparé aux troubles du débit de la parole survenant également au démarrage, à l'attaque ; la corrélation mise en évidence suggérerait donc un mécanisme physiopathologique commun pour ces deux types de manifestations. Le masque facial est essentiellement associé aux troubles du débit. Tandis que le piétinement est corrélé aux troubles du débit mais aussi aux altérations du timbre et aux variations de hauteur. D'autre part, alors que la monotonie est une caractéristique incontestée de la voix parkinsonienne (Canter 1965, 1968 cité par Segulier et al. 1974, Aronson 1990, Brin et al. 1992, Cummings et al. 1988 cités par Gentil et al. 2001, Darley et al 1969, ...), les auteurs constatent que seulement 1/3 des parkinsoniens de leur étude n'est concerné et pensent que l'impression de monotonie n'est pas seulement liée aux variations de la hauteur de la voix mais à d'autres paramètres tels que l'intensité et le timbre. Cependant, il faut rappeler que c'est une écoute auditive, une analyse perceptive, qui permet de juger « normales, importantes, très peu ou peu » les variations de hauteurs des enregistrements des 67 sujets et de conclure sur des variations de hauteurs normales ou anormales. A ce stade, l'analyse acoustique semble être nécessaire afin de compléter l'évaluation des variations de hauteurs de la voix et donc de rendre compte de la monotonie de la voix. Enfin, cette étude confirme qu'il n'existe pas de corrélation entre le tremblement des extrémités et le chevrottement de la voix. La rigidité semble être en corrélation avec la monotonie de la voix et l'insuffisance articulatoire. Les altérations du timbre seraient attribuées à une réduction de la mobilité des cordes vocales et les phases d'accélération paroxystiques du débit seraient dues à un phénomène d'excitation psychomotrice (Guiot et al. 1961 cités par Segulier et al. 1974). Les corrélations établies par les auteurs sont en accord avec certaines de celles de Darley et al. 1969 qui emploient le terme d'insuffisance prosodique.

***Pour résumer...***

Les études perceptives ont permis de cerner les caractéristiques prédominantes de la parole parkinsonienne ou dysarthrie hypokinétique, celles-ci sont en relation avec la prosodie : réduction et uniformité de l'intensité et de la hauteur de la voix, réduction de l'accentuation, silences inappropriés et débit variable avec des accélérations soudaines du débit. A cela s'ajoutent une imprécision des consonnes, les occlusives étant particulièrement affectées, des troubles articulatoires et une voix rauque et chuchotée. Malgré les nombreux aspects subjectifs que revête l'analyse perceptive, elle est une étape nécessaire qui est loin d'être hasardeuse et propose une méthodologie d'investigation particulièrement soignée. Les observations qui proviennent de différents auditeurs mais qui se recourent donnent des informations suffisantes à une première description des troubles de la parole qui attend d'être vérifiée et approfondie par les études instrumentales.

#### **IV. Etudes instrumentales : description objective de la dysarthrie parkinsonienne**

Les études acoustiques proposent des descriptions parfois très différentes de celles des études perceptives. Les données acoustiques permettent une évaluation quantitative des phénomènes dysarthriques. Selon Kent et al. 1999 l'analyse acoustique est un complément très utile à l'évaluation perceptive de la dysarthrie. Cependant, l'utilisation conjointe des analyses perceptive et acoustique est abordée seulement dans les cliniques spécialisées mais devrait se généraliser prochainement grâce à la reconnaissance des avantages de l'analyse acoustique et à la baisse de son coût. Les outils d'estimations acoustiques et/ou physiologiques sont recommandés afin de recouvrir les limites que rencontrent les évaluations perceptives plus subjectives (Collins 1984 cité par Kent et al. 1999). Selon Kent et al. 1999, les analyses acoustiques sont appropriées à l'estimation standardisée des désordres de parole et de la voix ; les auteurs préconisent l'utilisation clinique des analyses acoustiques comme un supplément à l'évaluation perceptive de la dysarthrie. Les analyses acoustiques peuvent prendre différentes formes et avoir des buts variés, leur interprétation peut être aussi multiple. Les auteurs parlent de deux types de données acoustiques recueillies pour l'étude de la dysarthrie : les données déterministes « deterministic » versus les données stochastiques « stochastic ». Les données déterministes sont relatives aux propriétés phonétiques et les données stochastiques caractérisent les tendances générales ou à long terme. Les deux types de données peuvent être complémentaires. Par exemple, les données stochastiques peuvent décrire les utilisations que le locuteur fait d'une variable particulière et les données déterministes peuvent montrer comment la variable est régulée pendant la réalisation d'un événement particulier de parole. Les analyses acoustiques peuvent présenter un nombre variable de dimensions. L'analyse peut être à dimension unique, le nombre maximum de dimensions est défini par des facteurs pratiques. Kent et al. 1999 remarquent que l'hétérogénéité des dysfonctionnements de la parole chez des personnes présentant les mêmes perturbations neurologiques complique les analyses acoustiques de la parole dysarthrique. Il existe des procédures automatiques de détections de paramètres acoustiques telles que la MDVP « Multi-Dimensional Voice Profile » qui permet une analyse générale de la voix. La MDVP recueille automatiquement des données acoustiques telles que jita (jitter absolu), Jitt (pourcentage de jitter), RAP (perturbation moyenne relative), PPQ (quotient de perturbation de hauteur), sPPQ (quotient régulier de perturbation de hauteur) , vFo (variation de la fréquence fondamentale), ShdB (shimmer en dB), Shim (pourcentage du shimmer), APQ (quotient de l'amplitude de

perturbation), sAPQ (quotient régulier de l'amplitude de perturbation), vAm (pic de variation d'amplitude), SPI (index de phonation), ATRI (index d'amplitude d'intensité de tremblement), etc... et permet de rendre compte rapidement des dysfonctionnements potentiels. Mais des études acoustiques plus précises doivent être ensuite établies afin de préciser les dysfonctionnements.

#### **IV.1. Importance de la tâche de production de parole**

Les études acoustiques observent des productions de parole de différentes natures qui sont recueillies dans différentes conditions selon différentes consignes. Les activités de lecture, de conversation spontanée ou semi-dirigée, de description d'image, de répétition de mots, de syllabes ou de phrases, selon un débit normal, rapide ou lent, de production de voyelle tenue ... sont des tâches qui sont proposées aux locuteurs afin de recueillir des enregistrements de production de parole. Il faut toutefois remarquer que ces diverses tâches n'engagent pas toutes les mêmes efforts cognitifs, articulatoires et phonatoires. Par exemple, alors que la tâche de tenue de voyelles permet de calculer le temps de phonation maximal du locuteur, la répétition rapide de syllabes (diadochokinésie) permet de rendre compte de la coordination des gestes articulatoires. Le choix des syllabes à répéter est également déterminant car la prononciation d'un [pa] permet entre autre d'observer l'occlusion bilabiale alors que la production d'un [la] permet d'observer le mouvement de la langue. L'expérimentateur averti met en place son protocole expérimental en fonction de ce qu'il désire observer. Les performances motrices des parkinsoniens peuvent être relativement normales lorsqu'elles relèvent de certaines conditions expérimentales (England & Schwab 1959, Hallett & Khosbin 1980, McDowell et al. 1986 cités par Connor et al. 1989) et se détériorer lorsque la tâche de production de la parole se rallonge et se complexifie (Benecke et al. 1987, Hallett & Khosbin 1980, Marsden 1984, Sanes 1985 cités par Connor et al. 1989). Connor et al. 1989 ont voulu vérifier si les parkinsoniens rencontraient des difficultés croissantes en fonction de la tâche de production de parole. Les parkinsoniens ont des difficultés à produire les consonnes occlusives (Kent & Rosenbek 1982, Logemann et al. 1978, Ludlow & Bassich 1983, Weismer 1983 cités par Connor et al. 1989). Les auteurs ont donc proposé aux 14 parkinsoniens deux tâches de répétition de syllabes composées de consonnes occlusives, l'une consiste à répéter les syllabes [ba], [da], [ga] de façon isolée et l'autre à répéter les syllabes par groupes [papa], [pata], [paka] aussi rapidement que possible. Les résultats montrent que, quelle que soit la tâche de répétition, les productions des parkinsoniens sont autant altérées par rapport à celles des sujets témoins. La similarité des résultats entre les deux tâches suggère un effort similaire dans les deux

conditions. Par contre, les études concernant le mouvement des membres en contexte de maladie de Parkinson montrent que les parkinsoniens ont plus de difficultés avec la répétition de gestes qu'avec la réalisation de mouvements isolés (Frith et al. 1986 cités par Connor et al. 1989). Le contrôle moteur concernant la parole et les membres sont certainement affectés différemment par la maladie de Parkinson (Abbs & Hartman 1987 cités par Connor et al. 1989). La complexité et la longueur de la tâche de production de parole ne constituent donc pas un facteur supplémentaire de difficulté pour les dysarthriques. Par contre, nous verrons que certaines composantes de la parole sont sensibles à la tâche de production comme c'est le cas pour la Fo qui se comporte différemment en contexte de parole spontanée et en tâche de voyelle tenue.

## **IV.2. Etudes acoustiques**

### **IV.2.1. Niveau laryngé**

#### **IV.2.1.a. Le volume ou l'intensité de la voix**

L'intensité de la voix se mesure en dB, elle correspond à l'amplitude de vibration des cordes vocales. D'un point de vue perceptif, elle donne l'impression d'un son fort ou faible. Plus l'intensité est importante, plus le son est fort. Bien entendu, la relation n'est pas absolue.

#### **◆ L'hypophonie**

Le volume de la voix est assez faible chez les parkinsoniens (hypophonie) qui présentent des problèmes au niveau du contrôle et de la régulation du volume de parole (HO et al. 1999). La majorité des parkinsoniens présente une intensité de la voix significativement plus basse, entre 2 et 4 dB de moins que celle des sujets témoins (Fox et al. 1997 cités par Schulz 2002). Des troubles de la gestion du souffle peuvent être à l'origine d'une faible intensité de la voix chez les parkinsoniens selon Uziel et al. 1975. Un volume de parole réduit (hypophonie) est un aspect fréquent des dysfonctionnements de la parole en contexte de maladie de Parkinson (Logemann et al. 1978 cités par Ho et al. 1999). Une réduction du volume de parole est fréquemment décrite comme un trait clinique prononcé et précurseur de la maladie (Darley & Spriestersbach 1978, Logemann et al. 1978 cités par Kempler & Van Lancker 2002). De nombreuses études perceptives le confirment (Ackermann & Ziegler 1996 et Boshes cités par Ho et al. 1999) et les mesures acoustiques aussi (Boshes 1966 et Illes et al. 1988 cités par Ho et al. 1999). Lehiste 1965 cité par Darley et al. 1975 observe le spectrographe des répétitions de 160 mots d'un

parkinsonien. Il conclue sur une distorsion de la phonation et rapporte des cas de « laryngealization » : très lente et irrégulière activité des cordes vocales ou phonation biphasique très facilement reconnaissable sur le spectrogramme et de « breathy phonation » c'est à dire de voix murmurée ou soufflée. Il fait référence à la voix craquée « creaky voice » dont la littérature ne fait pas souvent mention en contexte de dysarthrie parkinsonienne. Grewel cité par Darley et al. 1975 qui a proposé une classification des dysarthries en 1957 indique qu'au début de la maladie la qualité de la voix est « breathy or hoarse » (murmurée ou rauque) puis devient de plus en plus aphonique tant elle perd en intensité. Cette caractéristique phonatoire est confirmée par Darley et al. 1969 cités par Darley et al. 1975 qui rapportent également une « monotony of pitch » (monotonie de fréquence : hauteur de la voix) et une « monotony of loudness » (monotonie d'intensité : volume) chez 32 parkinsoniens observés qui présentent une réduction des accentuations. Des anomalies au niveau du larynx qui se réalisent sous la forme d'un écartement des cordes vocales et d'une large ouverture de la fente glottique pendant le temps de phonation ont été démontrées chez les parkinsoniens (Hanson et al. 1984, Smith et al. 1995 cités par Schulz 2002). Elles sont à l'origine d'un dysfonctionnement de la vibration des cordes vocales qui s'accompagne d'une baisse de l'intensité vocale. Le tremblement laryngé ainsi que les anomalies au niveau des cordes vocales sont fréquemment observés chez les parkinsoniens (Perez et al. 1996 cités par Schulz 2002). Le muscle thyroartenoïde est le muscle qui a le rôle majeur dans l'adduction des cordes vocales et de nombreuses études rapportent une réduction de l'amplitude de ses mouvements pendant l'activité de parole chez les parkinsoniens (Baker et al. 1998, Luschi et al. 1999 cités par Schulz 2002) qui entraîne une réduction de l'intensité vocale.

#### ◆ **La variation de l'intensité**

L'étude de Metter & Hanson 1986 montre que les 10 parkinsoniens en tâche de lecture présentent des mesures de l'intensité relative moyenne qui ne diffèrent pas de celles des sujets témoins. Cependant la comparaison de la variation de l'intensité et du score dysarthrique montre une réduction de la variation de l'intensité par comparaison aux sujets témoins seulement pour les parkinsoniens présentant une dysarthrie sévère. Les auteurs remarquent également qu'une perte de la variation de l'intensité est effective chez les parkinsoniens auxquels sont associées des débits de parole rapide ou lent mais qu'elle n'apparaît pas pour les parkinsoniens présentant un débit de parole normal. Les parkinsoniens montrent une réduction du contrôle des mouvements

laryngés qui se manifeste dans une réduction de la variation de l'intensité, une utilisation réduite des inflexions intonatives et une réduction de l'habileté à produire les intensités vocales et les voyelles tenues.

◆ **Le contrôle du volume vocal**

Canter 1965 cité par Darley 1975 propose aux parkinsoniens de répéter la syllabe « no » selon 4 degrés de volume subjectif: doucement, normal, fort et en criant. Les résultats montrent que 4 parkinsoniens sont incapables de réaliser le contrôle de la pression subglottique et la tension des cordes vocales nécessaires à la production de voix chuchotée et que le volume vocal du groupe des parkinsoniens est significativement plus bas que celui du groupe des sujets témoins pour les répétitions « fort » et « en criant ». L'étude de Ho et al. 1999 montre non seulement un volume vocal réduit chez les parkinsoniens mais surtout une capacité moindre à adapter le volume vocal au bruit de fond et au feedback auditif instantané. Les parkinsoniens présentent un volume vocal invariable quel que soit le contexte de bruit. Contrairement aux sujets témoins, les parkinsoniens sont incapables de répondre à l'effet lombard qui consiste à ajuster de façon inconsciente le volume de parole en fonction du bruit ambiant. Le rôle de l'attention chez les parkinsoniens a été largement démontré en ce qui concerne les tâches motrices telles que la marche (Morris et al. 1994 cités par Ho et al. 1999) et l'écriture (Oliveira et al. 1997 cités par Ho et al. 1999). Mais Shames & Wiig 1990 cités par Kempler & Van Lancker 2002 n'observent que très peu de différences chez les dysarthriques entre les occurrences articulatoires réalisées en contexte de parole automatique/réactive et de parole volontaire/intentionnelle. Ho et al. 1999 ont donc voulu examiner les effets de consignes explicites sur le contrôle du volume de parole. Les résultats montrent qu'avec la formulation d'instructions explicites l'habileté des parkinsoniens à contrôler le volume de parole se normalise. En d'autres termes, lorsqu'ils y prêtent attention les parkinsoniens sont capables de parler avec un volume de parole approprié. Cette étude a été réalisée auprès de 12 parkinsoniens sous traitement médicamenteux enregistrés entre 1 et 3 heures après la prise médicamenteuse et de 12 sujets témoins anglophones (Australie). Les sujets lisent un extrait de texte de 6 lignes en même temps qu'ils entendent dans leur casque un bruit plus ou moins important qui est modulé. D'autres recherches ont montré que les parkinsoniens étaient capables d'agir sur leur volume de parole en réponse à des consignes explicites (Boshes 1966, Canter 1965, Ludlow & Bassich 1984 cités par Ho et al. 1999) mais Ho et al. 1999 repèrent

toutefois chez les parkinsoniens une tendance à un volume inférieur aux sujets témoins lorsque la contrainte physiologique est maximale. Le volume de parole demeure intact chez les parkinsoniens mais requiert la directive délibérée d'un processus attentionnel conscient. C'est la même observation qui a été faite pour les mouvements des membres supérieurs (Oliveira et al. 1997 cités par Ho et al. 1999) et inférieurs (Georgiou et al. 1994 cités par Ho et al. 1999). Pour les auteurs, le déficit dans la régulation du volume de parole des parkinsoniens est comparable à celui du contrôle de l'amplitude des mouvements des membres en activité de marche ou d'écriture. Morris et al. 1996 cités par Ho et al. 1999 montrent que les parkinsoniens sont capables de réguler leur vitesse de marche en fonction d'une cadence proposée mais la vitesse de marche des sujets parkinsoniens est toujours moins rapide que celle des sujets témoins. La parole et les mouvements des membres sollicitent le cortex moteur, font partie des exécutions automatiques et sont reliés au mécanisme fronto-striatal. Pour les auteurs, la réduction du volume de parole (hypophonie) et la diminution de l'amplitude des mouvements des membres (hypokinésie) proviendraient des mêmes dysfonctionnements du système moteur. Une perturbation du cortex moteur se répercuterait sur l'activité préparatoire nécessaire à la programmation d'une séquence de mouvements avant l'exécution (Ianssek et al. 1995 cités par Ho et al. 1999). Des études électrophysiologiques montrent une réduction des potentiels évoqués correspondants aux phases préparatoires dans les aires motrices supplémentaires (SMA) chez les parkinsoniens réalisant des mouvements automatiques qui s'accompagnent d'une réduction de l'amplitude des mouvements (Cunnington et al. 1996 et Dick et al ; 1989 cités par Ho et al. 1999). Ce sont les phases préparatoires des mouvements automatiques qui seraient auparavant perturbées. L'étude originale de Azevedo et al. 2003 s'intéresse au portugais du Brésil et illustre le fait que d'autres facteurs peuvent être déterminants dans le contrôle du volume vocal. Les auteurs observent le comportement prosodique de 8 femmes atteintes de la maladie de Parkinson sous traitement dopaminergique mais enregistrées en état Off L-dopa ainsi que celui de 8 sujets témoins appareillés en âge et en sexe. Les différentes mesures acoustiques effectuées auprès de la Fo, de l'intensité et des durées montrent que les parkinsoniennes présentent un débit de parole plus lent caractérisé par des variations réduites de la Fo mais une intensité significativement plus haute que celle des sujets témoins. Les auteurs expliquent ce phénomène inattendu d'augmentation de l'intensité par la volonté consciente des locutrices à contrôler ce paramètre de volume de la parole qui semble jouer un rôle primordial dans la langue portugaise avec la

présence d'accents toniques sur certaines syllabes.

#### **IV.2.1.b. La hauteur ou la Fréquence fondamentale de la voix ( Fo )**

La Fréquence fondamentale de la voix, la Fo est la fréquence moyenne à laquelle les cordes vocales vibrent, elle donne la hauteur de la voix qui est une sensation auditive selon laquelle les sons paraissent graves ou aigus. La variation de la Fo module la prosodie de la parole. Les mesures de la Fo et de ses variations illustrent le défaut de mélodie déjà mentionné comme trait dominant de la dysarthrie parkinsonienne par Darley et al. en 1975. La monotonie de la parole souvent décrite perceptivement en contexte de dysarthrie hypokinétique est en corrélation avec la réduction de la variation de la Fo sur le plan acoustique. Mais il n'est pas certain que toutes les propriétés acoustiques soient toujours en accord avec les impressions auditives (Stevens 1997). Par exemple, Kim 1994 citée par Kent et al. 1999 montre que les auditeurs ne sont pas capables de distinguer entre les trois dimensions de monotonie qui sont monotonie de hauteur « monopitch », monotonie d'intensité « monoloudness » et monotonie des durées « monoduration » alors que les mesures acoustiques le font aisément.

##### **◆ L'élévation de la Fo**

Plus les cordes vocales vibrent vite, plus la hauteur de voix est élevée. Autrement dit, plus la Fo augmente, plus la voix est aiguë. Chez les parkinsoniens, la Fo ou hauteur de la voix est élevée en comparaison avec ce que l'on observe chez les sujets témoins (Hertrich & Ackermann 1993 cités par Gentil et al. 1995, Uziel et al. 1975, Canter 1965, Kammermeier 1969 cités par Darley et al. 1975). De plus, Metter & Hanson 1986 cités par Gentil et al. 1995 montrent que la Fo augmente en fonction de l'avancée de la maladie. Cette élévation de la Fo observée chez les parkinsoniens est généralement attribuée à la rigidité des muscles laryngés. Elle est en contradiction avec les phénomènes perceptifs de « breathy, harsh and hoarsh voice » largement décrits chez les parkinsoniens (voir § III.2.) qui impliquent une vibration des cordes vocales dans les basses fréquences. Canter 1965 cité par Darley et al. 1975 rapporte une Fo moyenne de 129 Hz chez la population parkinsonienne et de 106 Hz chez la population témoin. Ludlow & Bassich 1984 cités par Gentil et al. 1995 rapportent une Fo moyenne de 165,8 Hz chez la population parkinsonienne et de 143,2 Hz chez la population témoin. De nombreuses études se sont intéressées à cette particularité et partagent la même conclusion mais beaucoup proposent des valeurs moyennes de la Fo très différentes. Celle de Uziel et al. 1975 procède par comparaison de productions orales

de 18 parkinsoniens et de 10 sujets témoins et confirme que le timbre de voix des parkinsoniens est généralement plus aigu que celui des sujets témoins. Cependant, le timbre de voix n'est pas directement représentatif de la Fo, il dépend également des phénomènes de résonance et de filtre qui vont modifier le son laryngien produit par la vibration initiale. Les auteurs notent une Fo qui monte dans les hautes fréquences. Pour eux ce serait l'hypertonie des cordes vocales qui serait responsable de l'élévation de la hauteur et donc du caractère aigu de la voix. Doyle et al. 1995 cités par Goberman et al. 2002 mesurent une Fo plus haute pour les parkinsoniens que pour les sujets témoins pendant la réalisation de voyelles tenues. Canter 1963 et Metter & Hanson 1986 cités par Goberman et al. 2002 font la même constatation auprès de sujets en tâche de lecture. Ces résultats sont confirmés par Hertrich & Ackermann 1995 auprès de sujets germanophones. Metter & Hanson 1986 montrent que chacun des 10 parkinsoniens ayant participé à leur étude présentent une Fo moyenne en tâche de lecture comprise dans l'étendue de valeurs relevées pour les sujets témoins mais il faut remarquer que 6 sujets sur 10 présentent une Fo moyenne plus grande que 130 Hz alors qu'un seul sujet témoin atteint cette fréquence. Selon les auteurs, la Fo a tendance à augmenter avec l'aggravation des troubles cliniques et de la sévérité de la dysarthrie.

◆ **La variation de la Fo**

La prosodie de la parole se traduit sur le plan acoustique par la variation de trois paramètres principaux : la fréquence fondamentale, la durée des sons et des silences, et l'intensité des sons. La variation de la Fo est donc en corrélation avec la prosodie de la parole. La Fo présente peu de variation chez les parkinsoniens en comparaison avec ce que l'on observe chez les sujets témoins (Canter 1963, Weismer 1984 cités par Gentil et al. 1995). La réduction de la variation de la Fo a des conséquences au niveau perceptif. En effet, l'absence de variation de la Fo produit de la parole monotone sans intonation. C'est pour cette raison que la parole parkinsonienne est décrite comme déficitaire au niveau de l'expressivité émotionnelle de la prosodie. En réalité, les parkinsoniens ne sont pas expressifs car ils sont dans l'incapacité de moduler la Fo. Pour Ludlow & Bassich 1984 cités par Gentil et al. 1995, le manque de variation de la hauteur est en corrélation avec le degré de sévérité de la maladie. Selon Gentil et al. 1995, la monotonie de la Fo est certainement en corrélation avec les problèmes de rigidité musculaire que rencontrent les parkinsoniens et, plus précisément, avec la contraction insuffisante des muscles crico-thyroïdiens qui sont les principaux responsables de l'élévation de la Fo. Uziel et al. 1975 rapportent chez les

18 parkinsoniens observés une diminution de la modulation de la courbe d'intonation qui a pour conséquence une voix monocorde et une perte de la « *chanson du langage* ». Ils pensent que la rigidité des cordes vocales serait en partie à l'origine de la monotonie de la voix, les cordes vocales ayant des difficultés à réaliser les variations de hauteurs. Ils repèrent sur leurs documents acoustiques l'hypertonie qui est révélée par une pauvreté spectrale. Harel et al. 2004, observent des corpus provenant de 4 sujets anglophones américains récemment diagnostiqués parkinsoniens au moment de l'enregistrement et de 4 sujets contrôles. Les 8 sujets sont enregistrés en tâche de description d'images, de répétitions de la syllabe [pa] tenue et de lectures de phrases déclaratives. L'analyse acoustique effectuée avec le Kay Elemetric Motor Speech Profile (MSP) révèle que la variation de la Fo est significativement réduite chez les 4 parkinsoniens en comparaison aux sujets contrôles. Les travaux de Canter 1963, 1965, Flint et al. 1992, et Holmes et al. 2000 cités par Harel et al. 2004 et de Metter & Hanson 1986, sont confirmés par ces analyses. Tous ont décrit une réduction significative de la variation de la Fo chez des parkinsoniens sans traitement en tâche de lecture en comparaison avec des sujets témoins. Schilling 1925 et Grewel 1957 cités par Darley et al. 1975 rapportent une diminution de la variation des fréquences (« pitch range of the voice ») et une mélodie de parole monotone. Schilling 1925 cité par Darley et al. 1975 utilise le terme « monodynamic » (monodynamique) et décrit une raideur des cordes vocales qui ont tendance à rester en position d'adduction. Les travaux de Canter 1963 cité par Darley et al. 1975 menés auprès de 17 parkinsoniens en tâche de lecture aboutissent à la conclusion suivante ; la réduction de la variabilité des fréquences est caractéristique de la parole parkinsonienne et cette réduction est en partie responsable de la perception de la monotonie de la parole. Afin d'observer l'étendue vocale des parkinsoniens, Canter 1965 cité par Darley et al. 1975 demande aux parkinsoniens de produire le son le plus aigu et le son le plus grave dont ils sont capables. Les résultats montrent que les parkinsoniens produisent des sons dans une tonalité aussi basse que celle des sujets témoins mais les résultats ne sont pas significatifs pour les sons dans la tonalité haute. D'autre part, les études de Doyle et al. 1995 cités par Goberman et al. 2002 font part d'un phénomène contradictoire. En effet les auteurs observent une augmentation de la variation de la Fo alors qu'elle ne devrait pas avoir lieu, chez des sujets féminins parkinsoniens pendant la production de voyelles tenues. Leur étude témoigne de la difficulté de certains parkinsoniens à maintenir les cordes vocales dans une position stable, ce dysfonctionnement serait à l'origine de la variation de la Fo pendant la production de voyelles tenues. L'écart type de la variation de la

Fo nous informe de la proportion dans laquelle la Fo est susceptible de varier. Metter & Hanson 1986 calculent le coefficient de variabilité des fréquences pour les 10 parkinsoniens ayant participé à leur étude en tâche de lecture. Il s'agit du ratio de l'écart type de la fréquence fondamentale moyenne sur la fréquence fondamentale moyenne. Ce coefficient est en corrélation avec le score de dysarthrie, le débit de parole et le score de maladie de parkinson. Les parkinsoniens présentant une sévère dysarthrie montrent un coefficient de variabilité plus petit que celui des sujets témoins. Le coefficient de variabilité diminue lorsque le score dysarthrique et le score clinique augmentent mais pas lorsque le débit de parole augmente.

◆ **L'étude longitudinale de la Fo**

L'étude de Harel et al. 2004 s'intéresse à la description du comportement de la Fo chez des parkinsoniens avant le diagnostic de la maladie, c'est-à-dire pendant la période prodromique de la maladie. En effet, les auteurs procèdent à des analyses acoustiques d'échantillons de parole produite sur une période de 11 ans chez un patient anglophone américain dont on a diagnostiqué la maladie de Parkinson au cours de l'expérimentation (7 ans avant et trois ans après le diagnostic) et chez un sujet témoin. Cette étude pilote permet de mettre à jour le fait que la diminution de la variation de la Fo soit déjà perceptible dans des corpus de conversation libre qui ont été enregistrés 5 ans avant le diagnostic clinique. Les conclusions de l'étude permettent de dire que, pendant cette période prodromique, l'activité de parole chez les « futurs parkinsoniens » est déjà perturbée et, bien que les signes précurseurs soient minimes à ce stade du développement de la maladie, les différentes techniques de mesures sont capables de les détecter. Pour eux, cette analyse fine et anticipée peut être une aide au diagnostic car la maladie est associée à des modifications caractéristiques du système moteur de la parole. En effet, la maladie de Parkinson est diagnostiquée et différenciée de maladies cliniquement similaires lorsque certaines caractéristiques bien précises sont réunies, c'est-à-dire lorsqu'on décèle chez le patient un démarrage asymétrique des symptômes accompagné d'un tremblement de repos compris entre 4 et 6 Hz et d'une réponse positive à la dopamine (lévodopa). Cependant, d'une part, de nombreuses maladies s'accompagnent de signes cliniques similaires et, d'autre part les patients ne développent pas tous les mêmes aspects symptomatiques de la maladie. Pourtant, il est nécessaire de distinguer la MPI des autres maladies afin d'adapter au mieux la prise en charge de la maladie, mais aussi de faire évoluer les nouvelles techniques thérapeutiques. Pour Harel et al.

2004 la correspondance avérée entre le début de la dysarthrie et le début de la maladie est due au fait que la parole relève de l'action motrice sous contrôle volitionnel (volontaire) la plus complexe, elle est de ce fait très sensible aux affections dégénératives du fonctionnement des ganglions de la base qui sont impliqués dans la pathophysiologie de la maladie de Parkinson. Cette étude montre que les paramètres acoustiques de la parole parkinsonienne peuvent constituer une évaluation sensible à la progression des prémices de la maladie. De nombreuses études font le lien entre parole et sévérité de la maladie. Harel et al. 2004 proposent que les mesures acoustiques soient effectuées de façon « préventive » afin que la maladie soit reconnue avant l'apparition et l'installation des manifestations physiques de sorte que le diagnostic soit établi plus tôt et qu'il puisse donner suite à une prise en charge anticipée de la maladie. Harel et al. 2004 reproduisent leurs analyses auprès de deux sujets parkinsoniens anglophones américains qu'ils enregistrent en conversation libre 5 et 10 ans avant et 2 et 3 ans après le diagnostic de la maladie de Parkinson et de deux sujets contrôles appariés en âge, en sexe et en condition socioculturelle. D'une part, la variation de la Fo est significativement réduite chez les sujets parkinsoniens en comparaison des sujets contrôles et d'autre part, la Fo est significativement réduite pour les enregistrements effectués pendant la période antérieure à l'introduction d'un traitement en comparaison de ceux effectués après l'initiation du traitement pharmacologique. Les études de Harel et al. 2004 suggèrent que très tôt l'évolution dysarthrique du larynx est mise en évidence par une réduction de la variation de la Fo, quantifiable pendant la période prodromique de la maladie au plus tôt 4 ans avant le diagnostic clinique de la maladie. De plus il apparaît qu'avec le traitement pharmacologique les parkinsoniens regagnent une intonation normalisée avoisinant celle observée chez les sujets contrôles.

#### **IV.2.1.c. Le Voice Onset Time ou VOT**

Le voice onset time (VOT) est, du point de vue articulatoire, le délai qui sépare le bruit de l'explosion consonantique et le début du voisement c'est-à-dire la mise en vibration des cordes vocales. Il est un indice important qui permet de discriminer entre des consonnes occlusives ne différant que par leur nature sonore ou sourde. Il se traduit sur le spectrogramme par la distance qui existe entre le début de la transition du premier formant par rapport au début de la transition des formants supérieurs F2 et F3. Les occlusives sonores /b, d, g/ se caractérisent en français par un VOT négatif ou nul tandis que les sourdes /p, t, k/ possèdent un VOT positif d'environ 30 ms. Certains auteurs rapportent une perte de contrôle du VOT, c'est-à-dire du temps qui s'écoule

entre le relâchement de la consonne et le début du voisement. Cette perturbation de mise en route du voisement traduit un défaut de coordination entre le larynx et les organes articulatoires (Flint et al. 1992, Lieberman et al. 1992 cités par Gentil et al. 1995, Forrest et al. 1989). Le VOT est l'indice de coordination articulatoire le plus fréquemment utilisé et de nombreuses études ont été publiées à propos du VOT en contexte de parole normale et pathologique. Certaines études rapportent une durée de VOT réduite chez les parkinsoniens alors que d'autres observent des durées augmentées du VOT. Dans une étude de Harel et al. 2004 ; chez deux parkinsoniens enregistrés en conversation libre 5 et 10 ans avant et 2 et 3 ans après le diagnostic de la maladie de Parkinson, le VOT est significativement plus court pour les enregistrements effectués pendant la période antérieure à l'introduction d'un traitement en comparaison de ceux effectués après l'initiation du traitement pharmacologique. La durée du VOT est significativement influencée par l'initiation du traitement pharmacologique. La question est de savoir si le VOT est un index satisfaisant de la coordination entre le larynx et le système supralaryngé. De nombreuses études n'ont pas relevé de différences significatives du VOT chez des sujets présentant des problèmes de coordination des fonctionnements laryngé-supralaryngé et chez des sujets témoins (Kent et al. 1979, Metz et al. 1979, Watson & Alfonso 1982, Caruso & Burton 1987 cités par Kent et al. 1999). Il est toutefois intéressant de mettre en corrélation les mesures du VOT et d'autres données telles que le silence d'occlusion, l'intervalle voisé et l'aspiration pour les consonnes aspirées (Klatt 1975, Weismer & Fromm 1983 cités par Kent et al. 1999). Lisker & Abramson 1964 cités par Kent et al. 1999 propose la mesure composée du geste laryngé dévoisé « the laryngeal devoicing gesture (LDG) » défini par la somme de la durée de l'occlusion non voisée et de la durée du VOT. Une autre mesure pertinente pour l'évaluation de la coordination est l'amplitude du premier harmonique H1 qui empiète sur un segment fricatif audible. Cette mesure n'a pas été réalisée en contexte de parole dysarthrique mais sa méthodologie est décrite par Pirello et al. 1997 cités par Kent et al. 1999. Forrest et al. 1989 relèvent chez les parkinsoniens une réduction de la durée des voyelles et des transitions formantiques ainsi qu'une augmentation de la durée du VOT. Ces perturbations sont plus importantes pour les patients présentant une dysarthrie sévère et pour les mouvements articulatoires vocaliques complexes. Un indice également important capable de permettre la discrimination des consonnes occlusives est constitué par l'angle de transition du deuxième formant. Les variations de cet angle rendent possible la discrimination entre les consonnes en fonction de leur point d'articulation. Dans un

contexte vocalique identique la perception du son initial comme /b/, /d/ ou /g/ dépendra de la valeur de cet angle. Bien sur, il faut remarquer que un même segment ou une même propriété phonétique n'est pas spécifiée par un seul indice acoustique mais par de nombreuses propriétés qui entretiennent des relations de compensation perceptive et qui varient selon le contexte (Kent et al. 1999). Le terme de « voiceless transitions » (Lehiste 1965 cité par Darley et al. 1975) désigne le segment non voisé de la syllabe nucléaire qui se situe après ou avant une consonne. L'apparition de cette transition non voisée est en relation avec le manque de coordination de l'activité des cordes vocales et des mouvements articulatoires. L'article de Ozsancak et al. 2001 décrit les difficultés méthodologiques des mesures temporelles concernant le VOT. En effet, la production des consonnes occlusives /p, t, k/ de 48 patients présentant une dysarthrie spastique et de 35 patients présentant une dysarthrie hypokinétique s'accompagne fréquemment de l'absence du bruit d'explosion correspondant au relâchement de l'occlusion sur les documents acoustiques.

#### **IV.2.1.d. Les formants vocaliques**

Lors de la production de voix et spécifiquement pour les voyelles, on observe des fréquences de formants. Il s'agit d'une concentration d'énergie acoustique. La configuration du tractus vocal produit une résonance particulière et renforce certaines fréquences qui donnent les formants. Le premier formant ou F1 varie inversement à la hauteur de la langue dans la cavité buccale. Le deuxième formant F2 varie inversement à l'avancement de la langue dans la cavité buccale. Les formants varient en fonction de la longueur du tractus vocal, de l'âge et du sexe du locuteur. Les dysfonctionnements les plus répandus concernant la production de voyelles en contexte de dysarthrie sont une centralisation des fréquences formantiques (Ziegler & Von Cramon 1983, 1986 cités par Kent et al. 1999), une réduction de la répartition acoustique des voyelles (Turner et al. 1995 cités par Kent et al. 1999) et une anomalie des formants pour les voyelles hautes et antérieures (Watanabe et al. 1994 cités par Kent et al. 1999). Les formants se révèlent être instables. Les fluctuations des formants consistent en une variabilité du formant pour les voyelles tenues ou longues (Gerratt 1983, Blomgren & Chen 1998 cités par Kent et al. 1999). Ces fluctuations peuvent être utilisées afin de documenter les mouvements involontaires du tractus vocal en contexte de dysfonctionnement tel que tremblement, chorée ou dystonie mais ce n'est pas le cas en contexte de dysarthrie parkinsonienne. De nombreux auteurs rapportent une durée réduite des transitions formantiques (Connor et al. 1989 cités par Gentil et al. 1995, Forrest et al. 1989), cette diminution de durée indique une baisse de l'amplitude des mouvements

articulatoires. Connor et al. 1989 observent 14 parkinsoniens en tâche de répétition des syllabes [ba], [da], [ga] et des dissyllabes [papa], [pata], [paka] aussi vite que possible. Les résultats montrent chez les parkinsoniens une baisse du F1 et du F2 dans les deux conditions de production de parole par rapport aux sujets témoins. Cette baisse de formant indique une réduction de la vitesse des mouvements articulatoires (Ziegler & Von Cramon 1983 cités par Connor et al. 1989) qui est souvent mentionnée dans les études cinématiques (Caligiuri 1987, Hirose et al. 1981, 1982, Hunker et al. 1982 cités par Connor et al. 1989). Par contre la durée des syllabes est réduite de façon similaire par les parkinsoniens et par les sujets témoins lors de cette tâche de production de parole qui consiste à répéter le plus rapidement possible les syllabes.

#### **IV.2.1.e. La nasalisation**

Les indices acoustiques de l'hypernasalité ne sont pas facilement descriptibles, différents facteurs interviennent dont l'importance varie selon les locuteurs et le contexte phonétique (Kent et al. 1999). La nasalisation peut être identifiée acoustiquement à travers la combinaison de la présence de formant nasal, de la réduction des énergies, de l'augmentation de la largeur des bandes de fréquences formantiques, de changements dans la fréquence des formants et de la présence des antiformants (Kent & Read 1992 cités par Kent et al. 1999). Une approche acoustique de la nasalisation consiste à identifier deux ou plus des facteurs corrélés à la nasalisation (Ansel & Kent 1992 cités par Kent et al. 1999). Des phénomènes d'hypernasalité ont été rapportés chez les parkinsoniens par les études perceptives mais pas, à notre connaissance, par ne faisant pas partie des symptômes caractéristiques de la dysarthrie hypokinétique, ils ont rarement fait l'objet d'étude acoustique.

#### **IV.2.2. Le niveau supralaryngé**

##### **IV.2.2.a. Les mouvements articulatoires**

Les perturbations motrices sont repérables à l'oreille et les données acoustiques et aérodynamiques les révèlent. Le syndrome d'insuffisance articulaire est repérable à plusieurs niveaux sur l'oscillogramme du parkinsonien (Gremy 1958 et Alajouanine et al. 1964 cités par Uziel et al 1975). Certaines anomalies sont récurrentes en contexte de dysarthrie parkinsonienne tandis que d'autres sont non spécifiques. La caractéristique de la dysarthrie hypokinétique est une réduction générale de la mobilité mais aussi de l'ampleur des mouvements. Duffy 1995 affirme

que les dysfonctionnements de la parole parkinsonienne sont attribués aux désordres neuromusculaires à l'origine de la réduction de l'amplitude ou de la vitesse des mouvements «neuromuscular abnormalities in much of the speech musculature, usually related to restriction in the range or speed of movements patterns » (p173 cité par Kempler & Van Lancker 2002). D'autre part, les imprécisions articulatoires provoquent l'impression de marmonnement que donne la parole parkinsonienne (Darley et al. 1975). Plus la maladie progresse, plus la mobilité est limitée et cette hypokinésie perturbe également l'activité laryngée (Duffy 1995 cité par Kempler & Van Lancker 2002). Le plus souvent, les perturbations qui affectent les mouvements intervenant dans la parole sont attribuées à la rigidité (Gentil et al. 1995). Selon certains auteurs, les troubles des mouvements des organes articulatoires peuvent être la conséquence d'une faiblesse musculaire (Netsell et al. 1975 cités par Gentil et al. 1995). Ackermann et al. 1997 montrent que, très tôt au cours de la maladie de Parkinson, les parkinsoniens sont capables de compenser les mouvements articulatoires anormalement lents (bradykinésie) en réduisant l'amplitude du mouvement (cible articulatoire). Pour Yorkston et al. 1988 cités par Kempler & Van Lancker 2002 la dysarthrie est caractérisée par des erreurs articulatoires « highly consistent articulatory errors » et nous verrons comment nous pouvons décrire ces erreurs articulatoires.

#### **IV.2.2.b. La coordination**

Peu d'études ont analysé quantitativement le manque de coordination dont peuvent souffrir les mouvements de production de la parole. Connor et al. 1989b cités par Gentil et al. 1995 examinent la coordination entre la mâchoire, la lèvre supérieure et la lèvre inférieure. Leurs résultats montrent que les trois structures n'ont pas le même comportement moteur et expliquent le problème de coordination. Les études articulatoires déclarent la production de parole parkinsonienne affectée par un problème essentiel de synchronisation des mouvements (Ho et al. 1998) et de contrôle temporel (Ackermann et al. 1997). Gracco et al. 1992 constatent une incoordination qui se situe entre le niveau laryngé (larynx) et le niveau supralaryngé, avec une réduction de l'amplitude et de la vitesse des mouvements des lèvres et de la mandibule et une anomalie de position des structures laryngées (cordes vocales). Ces phénomènes engendrent une réduction de l'intelligibilité de la parole parkinsonienne. Il est possible de compléter les données acoustiques par des données cinétiques afin de mieux comprendre les faits. Canter 1965 cité par Darley et al. 1975 rapporte que chez les 17 parkinsoniens qu'il a observé le dysfonctionnement articulatoire principal est dû à une occlusion inadéquate des articulateurs pendant la production

des occlusives ainsi qu'à un échec de la coordination des activités laryngée et orale. Canter 1965 cité par Darley et al. 1975 remarque que le /l/ et le /r/ en position initiale sont souvent oubliés par les parkinsoniens. Selon lui, le locuteur semble être capable de produire les mouvements articulatoires adéquats mais rencontre un problème d'initiation de la phonation qui persiste jusqu'à ce que les articulateurs se soient mis en position afin de produire le phonème suivant. L'auteur vérifie cette description à l'aide de documents issus de spectrogrammes. La mise en route tardive de la phonation, c'est-à-dire de la vibration des cordes vocales, est en décalage avec les mouvements des articulateurs et est la manifestation d'un problème certain de coordination.

#### **IV.2.2.c. La production des consonnes**

L'articulation imprécise de la dysarthrie hypokinétique affecte les consonnes (Canter 1965, Logemann & Fisher 1981 cités par Schulz 2002, Ackermann & Ziegler 1991, Forrest & Weismer 1989). Les observations perceptives sont confirmées par les études instrumentales; les mouvements articulatoires des consonnes sont les mouvements articulatoires les plus perturbés en contexte de dysarthrie parkinsonienne. Lehiste 1965 cité par Darley et al. 1975 rapporte une analyse spectrographique effectuée auprès d'un parkinsonien. Il constate un nombre considérable de distorsions de l'articulation des consonnes donnant lieu à des modifications du mode articulatoire avec une tendance à la réalisation des occlusives comme des fricatives. Le /s/ est réalisé /θ/ comme dans « think » en position initiale et finale dans de nombreux cas. Dans les mots « house » et « toss » c'est une fricative bilabiale non voisée qui est produite. Le /s/ final peut donc être remplacé par /θ/ ou par /f/. D'autre part, il remarque que le /ʃ/ remplace les /z/ en position finale. Le /s/ est produit en finale dans les mots « with » et « forth ». Une fricative vélaire voisée remplace le /r/ final et le /y/ initial. Une occlusive glottale remplace les /t/ et /k/ en position finale. Il observe de nombreuses omissions de consonnes. Selon l'auteur la prononciation du parkinsonien est caractérisée par une tendance à allonger la durée de la consonne initiale jusqu'à ce qu'elle soit perçue comme syllabique. Canter 1965 et Cramer 1940 cités par Darley et al. 1975 rapportent que les occlusives sont produites comme des fricatives. La précision de la production des consonnes occlusives peut être déterminée en partie par les mesures de l'énergie acoustique durant la phase auditive de l'occlusive ou pendant la phase silencieuse (Weismer 1984 cité par Kent et al. 1999, Ackermann & Ziegler 1991). En général, la production normale d'une consonne occlusive non voisée est associée à une occlusion

silencieuse. Les dysarthriques et surtout les parkinsoniens ont tendance à produire de l'énergie pendant la phase silencieuse. Cette énergie se réalise typiquement selon deux formes : 1) bruits de turbulence (phénomène de spirantisation) générés par une occlusion incomplète qui donne lieu à une constriction orale et 2) énergie voisée qui apparaît à cause du manque de coordination entre les activités laryngée et supralaryngée. Ces deux occurrences sont distinctes sur le spectre. Les énergies pendant la phase silencieuse sont souvent présentes à l'intérieur des syllabes qui ne reçoivent pas l'accent primaire (Ackermann & Ziegler 1991) mais c'est fréquent pour les consonnes à l'intérieur des syllabes dont l'accentuation est variable et pendant une répétition rapide de syllabes sur la même accentuation. La spirantisation ou la production de consonnes occlusives avec une occlusion incomplète au niveau du tractus vocal est reconnue comme une signature de la maladie de Parkinson (Logemann & Fisher 1981 cités par Kent et al. 1999). L'examen de la parole en contexte de différentes maladies neurologiques montre que la spirantisation est fréquente pour tous les types de dysarthries (Weismer 1997) et a des conséquences sur l'intelligibilité des locuteurs. Ackermann & Ziegler 1991 procèdent à une analyse acoustique auprès de 12 parkinsoniens germanophones. Ils relèvent des mesures de durées durant les mouvements de fermeture et d'ouverture des articulateurs pour la production des consonnes occlusives /p, t, k/ et l'intensité du son émis durant l'activité articulaire de fermeture qui désigne le degré de fermeture. Aucune différence entre les parkinsoniens et les sujets témoins n'est observée au niveau des données temporelles, par contre les parkinsoniens présentent des difficultés à réaliser les mouvements articulaires nécessaires à une occlusion complète. Les auteurs remarquent qu'il n'y a pas de confusion entre les mouvements de fermeture et d'ouverture suggérant une planification motrice intacte.

#### **IV.2.3. Niveau supralinguistique**

De nombreux travaux acoustiques ayant pour objet d'étude la dysarthrie se concentrent sur des caractéristiques phonétiques ou prosodiques qui sont d'ailleurs directement en relation avec l'intelligibilité. Les variables supralinguistiques ont été longtemps négligées mais ne sont pas sans conséquence. Les dysarthriques ont des difficultés à moduler la parole afin d'exprimer leurs émotions et souffrent d'une efficacité communicative réduite. La parole aprosodique qu'ils produisent est difficilement interprétable sur le plan émotionnel. Perceptivement, la parole parkinsonienne semble « dénuée de vie » (Kent et al. 1999). La parole dysarthrique étant lente et monotone, des études en perception ont montré que les auditeurs ont tendance à juger

négativement les personnes dysarthriques. Les parkinsoniens sont perçus comme des personnes froides, réservée et anxieuses, c'est la conclusion de l'étude de Pitcairn et al. 1990 qui a proposé l'écoute d'enregistrements de parole de 4 parkinsoniens et de 4 sujets témoins à 16 auditeurs qui avaient pour consigne de donner leurs impressions sur les voix entendues selon 15 critères de personnalité. Les parkinsoniens ne présentaient pourtant pas d'état dépressif ; tous les locuteurs avaient un même score de dépression selon l'échelle de Beck. La monotonie de la prosodie est déterminante. Pourtant, les résultats sont les mêmes lorsque l'enregistrement vidéo est regardé sans le son : l'expression du visage est déterminante. D'autre part, l'étude de Ziegler & Hartmann 1996 cités par Kent et al. 1999 montre que les auditeurs ont plus de difficulté à donner un âge aux personnes dysarthriques qu'aux sujets témoins. La parole dysarthrique est perturbée au niveau de l'intelligibilité mais également au niveau de différentes dimensions qualitatives et s'accompagne d'expressions du visage plus ou moins insignifiantes et déconcertantes.

#### **IV.2.3.a. La prosodie**

La prosodie est l'enveloppe « musicale » de la parole avec des aspects de rythme, de mélodie, d'accent et d'intonation, pouvant avoir une valeur linguistique (marquer des frontières de phrases ou de mots) ou non linguistique (marquer une émotion). La prosodie est un aspect complexe de la parole. Les trois propriétés de durée, contour de la fréquence fondamentale et variation de l'intensité sont utilisées séparément ou de façon combinée pour décrire acoustiquement la prosodie de la parole. L'observation de la parole normale mène à la constatation du rôle de la prosodie dans la reconnaissance du mot (Grosjean & Gee, 1987, Cutler & Butterfield 1992, Cutler et al. 1997 cités par Kent et al. 2000). Il apparaît que la dysprosodie qui perturbe la parole dysarthrique provoque une réduction de l'intelligibilité et surtout lorsqu'elle est associée à une imprécision articulatoire (Kent et al. 2000). Les perturbations prosodiques sont un aspect proéminent des différentes dysarthries (Ackermann et al. 1993, Darley et al. 1969, Duffy 1995, Robin et al. 1991 cités par Kent et al. 1999). Weismer 1997 annonce que la dysarthrie hypokinétique est caractérisée par le seul phénomène d'insuffisance prosodique. Un problème méthodologique important accompagne les analyses concernant la prosodie. Plusieurs études indiquent que la prosodie est différente pour de la parole lue et de la parole en contexte de conversation (Leuschel & Docherty 1996 cités par Kent et al. 1999). La parole en contexte de conversation offre plus de possibilités de détecter les perturbations prosodiques dysarthriques mais elle comporte de nombreux inconvénients qu'il faut essayer de contrôler tels que longueur,

structure syntaxique et composition phonétique. Schlenck et al. 1993 cités par Kent et al. 1995 reportent que les dysarthriques produisent de plus courtes unités intonatives et une plus haute Fo moyenne que les sujets témoins. Selon Leuschel & Docherty 1996 cités par Kent et al. 1999 la prosodie des dysarthriques se distingue davantage de celle des sujets témoins en contexte de conversation qu'en tâche de lecture, les auteurs insistent sur le fait qu'il est important d'observer la parole dans différents types d'activités de parole afin d'accéder à une évaluation complète des compétences des locuteurs.

#### **IV.2.3.b. Le débit de parole**

##### **◆ La vitesse de parole**

Au niveau de la vitesse de parole, l'effet produit par la parole parkinsonienne est assez déconcertant ; les nombreuses hésitations ralentissent le débit de parole et, parallèlement, l'impression de rapidité de parole est donnée par la réalisation précipitée et incomplète des gestes articulatoires. En règle générale, on observe une augmentation globale du débit de parole (tachylalie ou tachyphémie) avec une accélération progressive au fil du discours (festination), des marmonnements et des difficultés au démarrage sont fréquents. Les auteurs ne sont pas unanimes quant à la vitesse de parole des parkinsoniens. Certains parkinsoniens parlent plus lentement que les sujets témoins et d'autres plus vite (Canter 1963, 1965, Caligiuri 1989, Darley et al. 1975, Adams 1994 cités par Kempler & Van Lancker 2002). Dans l'article de Gentil et al. 1995, la fiabilité des études perceptuelles qualitatives est remise en question car leur caractère subjectif entraîne de nombreuses divergences entre les différentes descriptions. Certaines études perceptives rapportent une vitesse de parole anormalement rapide chez les parkinsoniens (Canter 1963, Metter et al. 1986 cités par Gentil et al. 1995), d'autres une vitesse anormalement lente (Boshes 1966 cité par Gentil et al. 1995) et d'autres encore mentionnent une vitesse normale. Certains parkinsoniens peuvent avoir des temps de parole à une vitesse normale (Gentil et al. 1995) mais leur production donne une impression de rapidité car les gestes articulatoires sont incomplets (Kent & Rosenbek 1982, Weismer 1984 cités par Gentil et al. 1995). Critchley 1981 cité par Gentil et al. 1995 et Darley et al. 1975 mettent d'accord les différentes conclusions en déclarant que la vitesse de parole est typiquement variable en contexte de dysarthrie parkinsonienne. Les mesures temporelles divergent parce que les analyses perceptuelles sont incontestablement subjectives mais également parce qu'il existe une grande variabilité entre les

sujets. Uziel et al. 1975 insistent sur le fait que la tachyphémie (débit vocal accéléré, phrases prononcées très rapidement sans transition entre elles) est constante chez les parkinsoniens, elle peut être diffuse ou partielle mais est une caractéristique de la dysarthrie parkinsonienne. Par contre, la palilalie (répétition spontanée involontaire d'un même mot ou d'un même fragment de phrase) et la tachyphémie paroxystique (accélération soudaine du débit vocal avec perte du volume vocal) sont observées de façon moins systématique ; elles se manifestent différemment selon les sujets et les situations. La tachyphémie paroxystique correspond au phénomène de festination de la parole. De nombreuses recherches concluent sur aucune différence significative entre le débit de parole de la population parkinsonienne et le débit de parole de la population contrôle (Canter 1963, Ludlow et al. 1987, Metter & Hanson 1986 cités par Harel et al. 2004) mais ces résultats sont faussés par la grande variabilité de débit dont sont capables les parkinsoniens et qui entraîne souvent la non significativité des résultats. Selon Metter & Hanson 1986, le débit de parole est la composante la plus variable de la dysarthrie hypokinétique. En contexte de conversation, les 10 parkinsoniens qu'ils observent présentent un continuum du débit de parole du plus lent à 77 mots par minute au plus rapide à 263 mots par minute. Ils peuvent donc avoir un débit de parole plus lent ou plus rapide que les sujets témoins qui ont un débit moyen compris entre 118 à 186 mots par minute. Les auteurs font apparaître que le débit de parole n'est pas en corrélation avec la sévérité des symptômes cliniques ni avec le degré de sévérité de la dysarthrie. Par contre, les sujets présentant une maladie de Parkinson sévère et/ou ceux présentant une dysarthrie sévère ont tous un débit de parole anormal mais les débits de parole extrêmes ne sont pas spécifiques aux parkinsoniens. Les parkinsoniens présentant un degré de sévérité de dysarthrie moyen à modéré sont associés à un débit de parole normal. Avec l'augmentation de la sévérité de la dysarthrie, le débit de parole a tendance à augmenter ou à diminuer. Aucune relation n'a été établie entre le degré de rigidité, de bradykinésie (lenteur des mouvements) et le débit de parole. En tâche de lecture ; Canter 1965 cité par Darley et al. 1975 calcule le débit moyen de lecture et rapporte une valeur de 172.6 mots par minute pour les 17 parkinsoniens observés et de 177.6 mots par minute pour les sujets témoins mais la différence n'est pas significative. Selon lui, les parkinsoniens ne se distinguent pas toujours des sujets témoins en terme de débit de lecture mais certains présentent un débit de lecture très lent (69.6 mots par minute) ou un débit de lecture très rapide (249.6 mots par minute) et la perturbation du débit de parole peut être un important aspect du dysfonctionnement de la parole en contexte de

dysarthrie. Kreul 1972 cité par Darley et al. 1975 rapportent un débit moyen de lecture de 142.3 mots par minute chez les 23 parkinsoniens observés. Les différentes études rapportent des valeurs de débit moyen très variables. Boshes 1966 cité par Darley et al. 1975 parle d'un débit moyen de lecture de 50 à 70 mots par minute chez les 17 parkinsoniens observés alors que Kammermeier 1969 cité par Darley et al. 1975 relève un débit moyen de lecture de 127 mots par minute chez les 8 parkinsoniens observés. Il est donc difficile de conclure sur une tendance générale. Le débit peut être très rapide comme très lent et la variabilité inter-sujet est importante. Hammen & Yorkston 1996 propose la lecture d'un extrait de texte à 6 parkinsoniens sous traitement pharmaceutique à la L-dopa (Sinemet). Les parkinsoniens atteignent un débit de parole de 268 syllabes par minute, ils ont un débit de parole significativement plus rapide que les sujets témoins qui produisent 216 syllabes par minute. En fait, 4 des 6 parkinsoniens ont un débit de parole plus rapide ou égal à celui du plus rapide des sujets témoins. En tâche de répétition ou diadochokinésie ; Canter 1965 propose la tâche de répétition des syllabes [buh] (mouvements des lèvres), [duh] (mouvements de la pointe de langue), [guh] (mouvements du dos de la langue) et [hah] (alternance d'abduction et d'adduction des cordes vocales) à 17 parkinsoniens anglophones et regrette qu'il soit parfois impossible de mesurer le débit de diadochokinésie parce que les parkinsoniens sont incapables de produire les mouvements rapides et réalisent un son continu à la place de la série de syllabes. Il utilise le terme de « complete freezing » pour désigner des mouvements articulatoires qui semblent bloqués. Les perturbations de la vitesse des mouvements de la pointe et du dos de la langue sont en corrélation. Les perturbations des mouvements des lèvres sont en corrélation avec celles des mouvements de la pointe et du dos de la langue. L'auteur pense que la musculature semble évoluer comme une unité avec une participation plus importante de la langue que des lèvres. La vitesse de diadochokinésie de la pointe et du dos de la langue est en corrélation avec le jugement de clarté de l'articulation. Il en est de même pour la vitesse des mouvements des lèvres. Par contre, Ewanowski 1964 et Kreul 1972 cités par Darley et al. 1975 ne relèvent aucune différence significative entre les parkinsoniens et les sujets témoins lors de la répétition de [puh], [tuh] et [kuh]. Cependant, les travaux de Ewanowski 1964 cité par Darley et al. 1975 montrent que les parkinsoniens ne peuvent pas maintenir une production rapide aussi longtemps que les sujets témoins et qu'ils utilisent une pression intra-orale moins importante que les sujets témoins. Cette dernière constatation est également partagée par Mueller 1971 cité par Darley et al. 1975 concernant la répétition de la syllabe [suh] chez 10 parkinsoniens anglophones qui remarque une

plus longue durée de la période de latence au commencement de la répétition après avoir initié l'expiration chez les parkinsoniens que chez les sujets témoins. Kreul 1972 cité par Darley et al. 1975 propose la tâche de diadochokinésie de la voyelle [ee] et de la séquence de voyelles [ee-oo] à 23 parkinsoniens anglophones. Il conclue sur un débit significativement plus lent que les deux groupes de sujets témoins (sujets témoins jeunes et sujets témoins âgés). Il déclare que les parkinsoniens sont d'avantage « dysrhythmic » (sans rythme) dans leurs productions et qu'ils maintiennent un niveau d'intensité de façon moins efficace.

◆ **Les pauses : fréquence, durée et localisation**

Les pauses sont reconnues être inconstantes dans la parole parkinsonienne. Certaines études ne relèvent pas de différence significative entre le pourcentage de pauses chez les parkinsoniens en comparaison avec le pourcentage de pauses chez les sujets témoins (Canter 1963 cité par Harrel et al. 2004). D'autres suggèrent que la parole parkinsonienne présente un plus grand temps de pause que celle des sujets témoins (Hammen & Yorkston 1996) et que les pauses sont plus fréquentes chez les parkinsoniens (Metter & Hanson 1986 cités par Harrel et al. 2004, Hammen et al. 1989). Harel et al. 2004, ne décèlent aucune différence significative dans le pourcentage de pause chez les deux sujets parkinsoniens qui ont été enregistrés en conversation libre 5 et 10 ans avant et 2 et 3 ans après le diagnostic de la maladie de Parkinson en comparaison avec deux sujets contrôles. Cependant, pour ces auteurs, l'absence de significativité des résultats de cette étude est due à la trop grande variabilité du rythme des deux locuteurs en présence. Uziel et al. 1975 désignent sous le terme de « émission continue » la durée des silences normaux entre les mots et entre les phrases. Ils rapportent une diminution de l'émission continue chez les 18 parkinsoniens qui ont participé à leur étude. En effet, la durée moyenne des transitions est nettement raccourcie chez les parkinsoniens et la différence avec les sujets témoins est significative. Lehiste 1965 cité par Darley et al. 1975 mentionne le fait que les composants de clusters sont parfois séparés par des voyelles rajoutées transformant un mot monosyllabique en mot bisyllabique. Les frontières de mots pour les « spondee words » (mots bisyllabiques dont les deux syllabes reçoivent un accent égal) sont parfois mal placées. Selon lui, les dysarthriques marquent les frontières de mots par des pauses et ils réalisent parfois des pauses qui ne correspondent pas à une séparation entre deux mots. La présence d'une durée anormale en production de parole courante est souvent constatée chez les dysarthriques hypokinétiques. Un

manque total de pause accompagne la forme rapide « fused » (Kent & Rosenbek 1982) de la dysarthrie qui se réalise avec un débit de parole très rapide. Une durée de pause anormalement étendue accompagne la forme lente de la dysarthrie qui se réalise avec un débit de parole très lent. Metter & Hanson 1986 observent une grande variabilité dans la localisation et dans l'étendue des pauses chez 10 parkinsoniens en tâche de lecture. Ils mesurent le pourcentage que représente le temps de pause par rapport au temps de parole pour chaque sujet. En général, les parkinsoniens présentent un plus grand temps de pause que les sujets témoins. Le pourcentage anormal de pause n'est pas en corrélation avec le degré de sévérité de la dysarthrie. Illes et al. 1988 observent le phénomène d'hésitation en parole spontanée et en parole lue chez 10 parkinsoniens anglophones. Les parkinsoniens produisent un nombre plus important de silences d'hésitation par minute et de silences d'hésitation anormalement longs que les sujets témoins. Ces silences pourraient être l'expression de problème d'accès au mot mais les auteurs pensent que ce sont les mouvements articulatoires qui sont difficilement mis en place et traduisent des dysfonctionnements au niveau du système moteur. Hammen & Yorkston 1996 observent l'effet d'une réduction contrôlée du débit de parole sur la dysarthrie. Ils proposent à 6 parkinsoniens L-dopa de lire un texte selon un rythme imposé plus lent que celui qu'ils utilisent habituellement. Il apparaît que cette réduction du débit de parole entraîne une augmentation de l'intelligibilité des parkinsoniens mais les auteurs souhaitent comprendre comment la réduction du débit de parole s'effectue. Pendant la tâche de lecture « ralentie », les parkinsoniens augmentent leur temps de phonation de 28 % et leur temps de pause de 156 % alors que les sujets témoins augmentent leur temps de phonation de 40 % et leur temps de pause de 209 %. En tâche de lecture « ralentie » les parkinsoniens augmentent leur temps de phonation jusqu'à atteindre l'équivalent du temps de phonation produit par les sujets témoins en tâche de lecture « normale ». Le temps de pause est plus augmenté que le temps de phonation. Cependant les parkinsoniens présentent une variabilité intersujet importante et des stratégies de ralentissement du débit différentes. Les résultats montrent que les parkinsoniens qui ont un temps de phonation moins long que les sujets témoins en condition de lecture « normale » tendent à augmenter d'avantage leur temps de phonation que leur temps de pause en tâche de lecture « ralentie » et les parkinsoniens qui ont un temps de phonation durant la tâche de lecture « normale » similaire à celui des sujets témoins tendent à augmenter d'avantage leur temps de pause que leur temps de phonation. Le contrôle du débit de parole dépend des caractéristiques individuelles du débit de parole habituel. D'autre part, dans les

deux conditions de lecture les parkinsoniens et les sujets témoins ont une durée de pause moyenne similaire. Le nombre de mots compris entre 2 pauses est similaire pour les deux groupes de sujets en tâche de lecture « normale » et les deux groupes de sujets diminuent le nombre de mots compris entre 2 pauses lorsqu'ils sont en tâche de lecture « ralentie ». Cette diminution du nombre de mots interpauses est associée à des modifications de la localisation des pauses. En condition de lecture « normale », les parkinsoniens réalisent 71.3 % des pauses à des localisations syntaxiquement appropriées à l'intérieur de la phrase et les sujets témoins font de même pour 86 % des pauses. En tâche de lecture « ralentie » les deux groupes de sujets diminuent leur pourcentage de pauses syntaxiquement appropriées. Finalement, les auteurs ne notent pas de meilleure gestion de la localisation des pauses et pensent que l'amélioration de l'intelligibilité est simplement due au fait que l'augmentation du temps de pause permet à l'auditeur de disposer de plus de temps pour « décoder le signal de parole distordu » en provenance du parkinsonien.

◆ **Les unités linguistiques : durée et nature**

Les études qui se sont intéressées aux données temporelles de la parole parkinsonienne sont en désaccord quant à la durée des unités linguistiques. Metter & Hanson 1986 insistent sur la grande variabilité intersujet qui affecte la longueur des phrases des parkinsoniens en tâche de lecture. Uziel et al. 1975 proposent aux 18 parkinsoniens la tâche de répétition des 3 phrases « J'ai cassé ma belle potiche. Que marmonnes-tu Agnès ? Que j'ai fait un beau dégât. ». Ils révèlent que la durée propre de chacune des 3 phrases est nettement diminuée chez les parkinsoniens par rapport aux sujets normaux. La durée moyenne de chaque phonème est diminuée chez les parkinsoniens par rapport aux sujets normaux et les auteurs notent également une diminution de la variabilité de durée des phonèmes chez les parkinsoniens qui ont tendance à homogénéiser la durée des phonèmes. D'autre part, les auteurs affirment que la diminution de durée des phonèmes porte essentiellement sur les constrictives /s/ et /ʃ/ alors que la durée moyenne des occlusives sourdes /p,t,k/ est normale voire augmentée. Les travaux de Dordain et al. 1978 et de Weismer 1984 cités par Gentil et al. 1995 ainsi que ceux de Uziel et al. 1975 rapportent également des durées des unités linguistiques généralement réduites chez les parkinsoniens en comparaison avec les sujets témoins et un débit de parole relativement accéléré. Par contre, Connor et al. 1989, Ludlow et al. 1987 cités par Gentil et al. 1995, Ackermann & Ziegler 1991, Pitcairn et al. 1990 ne notent pas de

différence de durée de syllabe ni de durée de mot chez les parkinsoniens en comparaison avec les sujets témoins. D'autres auteurs (Volkman et al. 1992 cités par Gentil et al. 1995) ont des résultats encore différents qui confirment une lenteur de parole chez les parkinsoniens et chez d'autres patients atteints de dysfonctionnement des noyaux gris centraux. A Propos des données temporelles de la syllabe, les méthodes acoustiques donnent des informations que l'évaluation auditive n'obtient pas facilement. Portnoy & Aronson 1982 cités par Kent et al. 1999 affirment que certaines hypothèses sur les dysarthries déterminées par des jugements perceptifs doivent être réexaminées par une perspective d'analyses quantitatives. Les différentes analyses de Ackermann et al. 1995 cités par Kent et al. 1999 montrent que les parkinsoniens produisent généralement des répétitions lentes de syllabes caractérisées par d'incomplètes occlusions. Le rythme des parkinsoniens n'est pas aussi saccadé que celui observé en contexte de dysarthrie ataxique. La tâche de répétition de syllabes est particulièrement représentative des dysfonctionnements cérébelleux (Duffy 1995 cité par Kent et al. 1995). De nombreuses études ont examiné les durées des segments en contexte de dysarthrie (Caruso & Burton 1987, Hertrich & Ackermann 1997, Kent et al. 1979, Weismer 1997). Beaucoup de dysarthriques ont un débit de parole lent, il est donc probable que les durées des segments soient plus longues que celles observées pour les sujets témoins. Cependant il s'avère que la lenteur affecte certains segments plus que d'autres. Les voyelles et les consonnes sont de durée plus longue chez les dysarthriques que chez les sujets témoins, par contre, les valeurs du VOT ne semblent pas affectées (Caruso & Burton 1987, Kent et al. 1979 cités par Kent et al. 1999). La dysfluence de parole a été relevée chez les dysarthriques, elle consiste en des répétitions de syllabes ou de mots, des prolongations de sons, des pauses silencieuses ou des hésitations (Kent et al. 1999). Par contre l'étude de Weismer et al. 2001 fait apparaître que les données temporelles relevées auprès de parkinsoniens en tâche de production de phrases ne se distinguent pas significativement de celles des sujets témoins alors que c'est le cas pour les patients atteints de SLA. Peu d'études se sont intéressées à cette dimension de la parole en contexte de dysarthrie. Cependant, certains travaux mentionnent chez les parkinsoniens des problèmes de nomination et de génération du mot, notamment avec la catégorie verbale. L'étude de Illes et al. 1988 observe la structure langagière de la parole dysarthrique de 10 parkinsoniens anglophones et décrit une simplification syntaxique plus importante chez les parkinsoniens présentant une dysarthrie modérée que chez ceux présentant une dysarthrie bénigne. Les auteurs pensent que les parkinsoniens s'adaptent à leur maladie car

ils sont conscients des problèmes d'intelligibilité dont ils souffrent et qu'ils choisissent volontairement de produire des phrases plus simples au niveau de la structure syntaxique. Les parkinsoniens n'ont pas de problème d'accès au mot mais ils produiraient prioritairement les mots et les structures syntaxiques familiers dans un souci d'intelligibilité.

### **IV.3. Analyses à partir de données acoustiques, cinétiques et/ou physiologiques**

Beaucoup de recherches se sont intéressées aux déficits des mouvements des membres chez les parkinsoniens (Accornero et al. 1985, Benecke et al. 1986, 1987, Evarts et al. 1981, Hallett & Khosbin 1980, Marsden 1985, 1989, Sanes 1985 cités par Gentil et al. 1995), mais peu d'analyses cinétiques ont évalué les mouvements articulatoires des parkinsoniens, d'une part à cause de la difficulté technique d'enregistrements des mouvements des organes de la parole et d'autre part à cause de la complexité des phénomènes de coarticulation des sons de la parole. L'étude de Ho et al. 2002 observe des similitudes entre les anomalies des mouvements articulatoires et celles du système musculo-squelettal. Elle suggère un effet sous-jacent à la maladie qui provoque l'affaiblissement des mouvements selon différentes fonctions du système moteur.

#### **IV.3.1. Le phénomène de festination de la parole**

Le terme de festination n'est pas destiné à caractériser l'activité de parole mais plutôt l'activité de la marche. Il s'agit de la tendance spécifique aux parkinsoniens à accélérer soudainement leur rythme de marche comme s'ils voulaient éviter la chute en avant. Toutefois, ce terme est utilisé pour décrire la précipitation soudaine du débit de parole. Les performances des parkinsoniens en tâche de répétition de syllabe révèlent un déficit temporel spécifique qui consiste en une accélération du débit de parole. Cette particularité est décrite par Ackermann et al. 1997 qui parlent d'une précipitation articulatoire "*articulatory hastening*", "*hastening phenomena*" ou "*speech hastening*". Selon ces auteurs, les mécanismes de déclenchement ou d'initiation des séquences de mouvements sont altérés au cours de la maladie de Parkinson et donnent lieu à des problèmes d'accélération du rythme et de gestion de la vitesse de parole. Ils ont mis en place un protocole expérimental afin de rendre compte du déficit du contrôle temporel chez deux parkinsoniens germanophones. Un système d'analyse optoélectrique des mouvements permet d'enregistrer les déplacements des lèvres pendant les répétitions de la syllabe /pa/. La consigne est de suivre un certain rythme de répétition indiqué par un signal sonore. L'un des deux parkinsoniens ne parvient pas à suivre le rythme imposé ; sa fréquence de répétition est

pratiquement 2 fois plus rapide que celle proposée. Le second parkinsonien ne présente pas de difficulté à réaliser cette tâche. Par contre, contrairement, ce dernier atteint une vitesse de répétition plus importante en suivant le signal indicatif que lors de la tâche de diadochokinésie orale pour laquelle la consigne est de répéter le plus rapidement possible la syllabe dans un même groupe de souffle. La tâche de diadochokinésie orale est souvent proposée car elle rend compte des capacités fonctionnelles du système articulaire. Lorsque les études font part de résultats normaux concernant le débit syllabique de la population parkinsonienne alors qu'on s'attend à des durées syllabiques rallongées dues au ralentissement de l'exécution motrice, il est évident que les parkinsoniens produisent un débit syllabique normal aux dépens de l'amplitude du mouvement. Autrement dit, des performances correctes relevées auprès de parkinsoniens durant la tâche de diadochokinésie orale n'indiquent pas nécessairement un contrôle efficace des mouvements rapides d'alternances mais plutôt la présence du phénomène de « articulatory hastening » (précipitation articulaire). Ce phénomène de festination s'accompagne d'un débit de parole accéléré dont on soupçonnait les conséquences au niveau de l'amplitude des mouvements articulaires. Les études cinétiques permettent de rendre compte de la perte de l'amplitude des mouvements articulaires qui accompagne le phénomène de festination et nous renseignent quant aux dysfonctionnements du contrôle temporel que rencontrent les parkinsoniens.

#### **IV.3.2. La bradykinésie, l'hypokinésie, l'akinésie et la dyskinésie**

Les termes de bradykinésie ou bradycinésie et d'hypokinésie doivent être différenciés mais sont souvent utilisés indifféremment dans la littérature. La bradykinésie se réfère à la lenteur des mouvements automatiques ou volontaires en l'absence de trouble de la vigilance, elle est présente en contexte de syndromes extrapyramidaux et particulièrement de maladie de Parkinson. Ce terme peut désigner le phénomène de ralentissement des mouvements dû à une atteinte du système nerveux. L'hypokinésie est la diminution de l'amplitude des mouvements qui peut s'observer dans de nombreuses maladies nerveuses et musculaires. Hypodynamie est un synonyme de hypokinésie. L'akinésie est un trouble caractérisé par une diminution ou une disparition des mouvements spontanés et automatiques et une lenteur du mouvement volontaire, en l'absence de lésion de la voie motrice principale. Ce trouble est un des éléments fondamentaux du syndrome parkinsonien et s'observe à son maximum au cours du mutisme akinétique. La dyskinésie est définie par une perturbation dans l'exercice d'un mouvement. Ces termes

caractérisent les troubles moteurs, ils ne sont pas spécifiques aux mouvements impliqués dans la production de parole mais sont utilisés pour les décrire. La bradykinésie ou lenteur des mouvements est une atteinte du dysfonctionnement moteur des membres reconnue en contexte de maladie de Parkinson. Elle a été décrite au niveau du système orofacial par Forrest et al. 1989 et par Caligiuri 1987. Gracco et al. 1992 rapportent une lenteur des mouvements d'ouverture et de fermeture de la part des organes articulatoires chez les parkinsoniens mais leur analyse s'appuie sur des mesures temporelles relevées auprès de données aérodynamique et acoustique et non sur des observations directes des mouvements des organes articulatoires.

#### **IV.3.2.a. Les mouvements de la langue**

Keller 1985, utilise une instrumentation prévue pour évaluer la psychomotricité de la parole chez des personnes souffrant de lésions cérébrales. Il estime les mouvements verticaux du dos de la langue au moyen d'enregistrements ultrasoniques. L'évaluation instrumentale des mouvements articulatoires, c'est-à-dire de la cinématique de la parole peut être un outil pour l'analyse et le diagnostic des perturbations motrices de la parole, incluant différentes formes de dysarthrie. En effet, les perturbations articulatoires des personnes dysarthriques sont difficiles à transcrire et à décrire de façon précise malgré les tentatives de classification sur critères perceptuels des différentes formes de dysarthrie (Classification de 7 dysarthries par Darley, Aronson & Brown en 1969 et en 1975). L'instrumentation de Keller permet de suivre la tendance centrale du mouvement de la langue pendant l'activité de parole et d'en apprécier sa vitesse et son accélération instantanées. Dans une étude menée en 1987, cet appareillage est testé, entre autres, auprès de deux parkinsoniens qui ont au préalable subi un examen clinique de la motricité faciale et orale (examen de Dorkwin, 1978). Pour le premier parkinsonien, l'examen clinique ne déclare aucune perturbation de la motricité des lèvres, de la langue et du larynx. Pour le second parkinsonien, l'examen clinique fait part de difficultés au niveau de la motricité du voile du palais. L'enregistrement cinématique de la parole de ces malades témoigne de difficultés motrices qui ne sont pas décelées par l'examen clinique. En effet, l'enregistrement ultrasonique en répétition lente de /ka/ montre un mouvement très irrégulier, au niveau de la trajectoire et de la durée du déplacement des articulateurs pour le premier parkinsonien et un problème de coordination conséquent entre les mouvements de la langue et ceux des cordes vocales pour le deuxième parkinsonien. L'évaluation ultrasonique de la motricité linguale paraît prometteuse pour l'analyse des perturbations neuromotrices de la parole. Il est fréquent que l'examen clinique

ne perçoive pas les perturbations motrices pourtant clairement visibles sur les tracés ultrasoniques qui sont, par ce biais, quantifiables statistiquement. Malheureusement, cette méthode a de nombreuses limites au niveau méthodologique (écho ultrasonique trop faible, tremblement et/ou mouvements involontaires des malades...) mais elle permet d'affirmer que la rigidité affecte de façon différente les divers organes articulatoires. Les muscles de la langue qui sont composés de peu de fuseaux neuromusculaires et qui sont sans réflexe d'étirement sont plus rigides que les muscles élévateurs de la mâchoire qui sont caractérisés par de nombreux fuseaux neuromusculaires et une activité réflexe monosynaptique (Abbs et al. 1983, 1987 cités par Gentil et al. 1995). Leanderson et al. 1970 cités par Darley et al. 1975 comparent l'activité labiale en production de parole de parkinsoniens et de sujets témoins à l'aide de données électromyographiques (EMG). L'EMG montre une augmentation considérable du tonus, notamment au niveau des muscles responsables de l'élévation et de l'abaissement de la langue (levator and depressor labii). Cette hypertonie ne permet pas d'effectuer la manipulation de l'excitation et de l'inhibition des muscles à l'aide d'électrodes alors que cette expérimentation a été réalisée auprès des sujets témoins. Un problème de coordination entre les différents muscles de la langue (orbicularis superior, orbicularis inferior, depressor anguli) est flagrant et le contrôle de la fonction synergique-antagoniste est fortement perturbé. Les auteurs repèrent une augmentation de l'activité antagoniste alors qu'elle devrait diminuer. L'activité des muscles est plus lente chez les parkinsoniens que chez les sujets témoins. La durée de la phase de mise en route de l'activité articulatoire est plus longue chez les parkinsoniens que chez les sujets témoins. Cette lente initiation des mouvements peu interférer avec la production du son suivant et produire alors une sorte de persévération. L'activité électromyographique dépend de la sévérité de la dysarthrie. Chez les patients présentant une sévère dysarthrie l'hypertonie des muscles est plus prononcée, les mouvements des lèvres sont raides, l'activité est ralentie et devient de plus en plus faible et la coordination est de plus en plus perturbée. Les auteurs remarquent aussi que les sons peuvent être produits aisément un à un mais pas dans une séquence rapide qui demande une fluidité de parole car la parole du patient devient indistincte et inintelligible. Les mouvements articulatoires des parkinsoniens sont réduits dans leur vitesse, amplitude et précision. Par conséquent, en contexte de production de parole, les phonèmes sont déformés de différentes façons et certains sont non produits.

#### **IV.3.2.b. Les mouvements des lèvres**

La population parkinsonienne ne constitue pas un groupe homogène mais on observe une tendance à la réalisation de mouvements articulatoires de la lèvre inférieure de plus petite amplitude (hypokinésie) et une vitesse de répétition de syllabe maximale moins rapide (bradykinésie). D'après Caligiuri 1987 les mesures de la rigidité et des mouvements des muscles labiaux effectuées auprès de 12 parkinsoniens en tâche de répétition de syllabes montrent une amplitude de déplacement et une rapidité des mouvements labiaux réduites par rapport aux sujets témoins. L'auteur observe une relation entre rigidité musculaire labiale et mouvements anormaux des lèvres. Par contre il ne trouve pas de relation significative entre rigidité labiale et hypokinésie-bradykinésie des mouvements des membres qui peuvent donc être des phénomènes indépendants. Forrest et al. 1989 enregistrent chez des parkinsoniens et des sujets contrôles les mouvements des lèvres et de la mâchoire à l'aide de transducteurs à jauge de contrainte. Il s'agit d'un instrument pour l'étude des lèvres et des maxillaires mis au point par Abbs et al. en 1973. Un courant continu est envoyé à travers une résistance variable et les changements de voltage sont liés à ceux de la résistance, c'est-à-dire aux mouvements des lèvres et de la mâchoire couplés à la jauge. Le capteur permet l'observation du mouvement des lèvres et de la mâchoire selon deux dimensions antérieure-postérieure et inférieure-supérieure. Ce dispositif s'inspire de celui de Sussman et al. 1970. Les résultats montrent que pendant les gestes d'ouverture, les déplacements et la vitesse de la mâchoire et de la lèvre inférieure sont moindres chez les parkinsoniens comparés à ceux des sujets contrôles et que pendant les gestes de fermeture, la vitesse de la lèvre inférieure augmente chez les parkinsoniens en fonction de la sévérité de la dysarthrie. Leanderson et al. 1972 et Pellat et al. 1983 cités par Gentil et al. 1995 ont étudié la fonction musculaire labiale des parkinsoniens et constatent une hypertonie, un dysfonctionnement des groupes musculaires agonistes-antagonistes et une activité musculaire anticipatoire prolongée. Ackermann et al. 1997 utilisent un système optoélectronique d'analyse du mouvement (l'appareillage ELITE, Milan, Italie) pour rendre compte des mouvements des lèvres durant la tâche de répétition de la syllabe /pa/ chez deux parkinsoniens (16 et 10 ans de durée de maladie, pas d'information au sujet du traitement) et deux sujets témoins germanophones. Les auteurs se focalisent sur l'observation de la trajectoire de la lèvre inférieure car ils considèrent qu'elle exécute la majeure partie des mouvements d'aperture et de clôture de la mandibule durant la production de la syllabe /pa/. Trois tâches sont proposées aux locuteurs.

La première consigne demande aux locuteurs de répéter la syllabe en suivant un signal sonore indiquant un certain rythme que les expérimentateurs font varier de 2.5 à 6 Hz. Une tâche de diadochokinésie orale est également proposée aux locuteurs, elle se présente en deux sous-tâches : répéter le plus rapidement possible la syllabe à l'intérieur d'un même groupe de souffle (mode FAST) et répéter le plus de fois possible la syllabe selon une cadence auto-contrôlée ressentie comme confortable (mode COMFORT). Pour chacune des répétitions prises en compte pour l'analyse sont estimés la durée, le déplacement vertical de la lèvre inférieure sur le plan sagittal et le maximum de vitesse d'exécution du geste d'ouverture. Une moyenne de chacun de ces trois paramètres est établie. Les résultats montrent que l'un des parkinsoniens présente le phénomène de « speech hastening » ; il adopte une fréquence de répétition entre 8 et 9 Hz à partir du moment où les stimuli sont réglés à une fréquence de 4 Hz et au-delà. En tâche de diadochokinésie mode FAST il atteint une fréquence de 8.3 Hz. L'autre parkinsonien souffre de perturbation de l'auto-contrôle. En effet, l'intervalle de fréquence de répétition chez les sujets sains en tâche de diadochokinésie mode FAST est de 4.4 à 7.1 Hz et ce parkinsonien ne peut pas aller au-delà de 4.6 Hz alors qu'en réponse aux stimuli, il est capable de suivre le rythme jusqu'à 6 Hz. Les tracés cinématiques révèlent que lorsque la fréquence de répétition excède 3 Hz les mouvements de déplacement des lèvres inférieures sont de moindre amplitude en comparaison avec ceux réalisés par les sujets contrôles. Les économies articulatoires sont maximales pour les fréquences de répétitions à 5 et 6 Hz. Lorsque la fréquence de répétitions est de 6 Hz, les deux parkinsoniens ont réduit l'amplitude des mouvements articulatoire au même degré que les réalisations d'un des sujets contrôles en tâche de diadochokinésie FAST au cours de laquelle il atteint une vitesse de répétition de 8 Hz. Cette étude permet de rendre compte de deux pathomécanismes bien distincts qui peuvent survenir en contexte de maladie de Parkinson. Le speech hastening ou festination de parole s'accompagne d'une accélération du débit et se réalise comme un emballement incontrôlable du débit. Le dysfonctionnement de l'auto-timing ou auto-contrôle s'accompagne d'un ralentissement du débit et se réalise comme une incapacité à se donner un rythme soutenu, c'est-à-dire à prendre l'initiative d'un débit rapide. Plusieurs études confirment l'existence d'un compromis entre la demande d'un certain rythme de parole et l'amplitude des mouvements articulatoires réalisés (Caligiuri 1989 cité par Ackermann et al. 1997, Ackermann & Ziegler 1991). L'étude électromyographique de Netsell et al. 1975 cités par Gentil et al. 1995 observe l'activité de la lèvre supérieure pendant une tâche de répétition de la syllabe /pa/. Les auteurs

rappellent que la durée des bouffées d'activité musculaire liées à chaque syllabe devient de plus en plus courte et l'amplitude diminue par comparaison aux sujets contrôles. Pour eux, les troubles des mouvements des organes articulatoires sont la conséquence de la faiblesse musculaire qui affecte les parkinsoniens. La rigidité musculaire peut atteindre les organes articulatoires d'une façon variable. Hunker et al. 1982 cités par Gentil et al. 1995 observent la rigidité des lèvres et rapportent que la lèvre inférieure des parkinsoniens montre une rigidité significativement plus élevée que celle des sujets contrôles. Les résultats sont variables pour la lèvre supérieure. Pellat et al. 1983 observent les données électromyographiques de l'activité de 4 muscles de la lèvre inférieure chez trois parkinsoniens. L'étude se concentre sur les 2 paires de muscles orbicularis oris inferioris/depressor labii inferioris et mentalis/buccinator. Les données électromyographiques reflètent des mouvements anormaux de ces muscles par rapport aux sujets témoins avec un dysfonctionnement au niveau de l'organisation de l'activité antagoniste des muscles. Les auteurs décrivent également l'existence d'une activité résiduelle entre les différentes articulations et d'une activité hypertonique constante pendant les mouvements articulatoires. Hunker et al. 1982 quantifient la rigidité des muscles labiaux chez des parkinsoniens en comparaison avec des sujets témoins en exerçant des forces sur les muscles et en observant leur déplacement en réaction à ces forces, ils en déduisent un coefficient de rigidité. D'autre part, les auteurs évaluent l'hypokinésie au niveau des lèvres (diminution de l'amplitude des mouvements) en observant les mouvements de parole. Les résultats montrent que la rigidité labiale est en corrélation avec la réduction de l'amplitude des mouvements et les données électromyographiques relevées auprès des muscles orbicularis oris et mentalis confirment la corrélation entre les deux phénomènes de rigidité et d'hypokinésie. Selon les données acoustiques relevées par Forrest et al. 1989 la vitesse et l'amplitude du mouvement de fermeture de la lèvre inférieure indiquent une perturbation au niveau du contrôle du mouvement d'élévation de la lèvre chez les parkinsoniens et cette difficulté augmente avec l'aggravation de la sévérité de la dysarthrie. L'étude de Ackermann, Hertrich et al. 1997 observe également des gestes labiaux de plus petite amplitude chez les parkinsoniens.

#### **IV.3.2.c. Les mouvements de la mâchoire**

Connor et al. 1989 cités par Gentil et al. 1995 examinent la cinématique de la mâchoire et des lèvres chez des parkinsoniens en activité de parole et montrent que les 3 structures; la mâchoire, la lèvre inférieure et la lèvre supérieure, n'ont pas le même comportement moteur. La mâchoire et la lèvre supérieure présentent une réduction de l'amplitude de mouvement et des pics de vitesse.

Ce fonctionnement différent des organes articulatoires explique le problème de coordination qui peut survenir durant la production de parole parkinsonienne. De nombreuses études ayant observé la performance motrice des membres montrent qu'elle varie en fonction de la tâche d'exécution (Sanes & Evarts 1985, Teasdale & Stelmach 1988 cités par Gentil et al. 1995). En contexte de production de la parole, la familiarité des tâches et notamment le guidage visuel influencent la fonction motrice au sein du système neuro-moteur oro-facial. Connor & Abbs 1991 cités par Gentil et al. 1995 ont effectué une étude cinématique afin d'observer essentiellement les troubles de la mâchoire selon 3 types d'exercice. Leurs résultats montrent que les mouvements relatifs à la parole ne sont pas affectés alors que les parkinsoniens manifestent des troubles cinématiques mandibulaires variables dépendant de l'exercice à accomplir. L'étude Forrest et al. 1989 observent des mouvements articulatoires de la mâchoire très limités chez les parkinsoniens en comparaison avec les sujets témoins. Pendant l'ouverture de la mâchoire, l'amplitude et la vitesse des mouvements sont moitié moins importantes que celles observées pour les sujets témoins. La même constatation est faite pour les mouvements de la langue avec cependant une mobilité moins endommagée que celle de la mâchoire.

#### **IV.3.3. L'observation du larynx**

Lorsque le terme de « voix » désigne spécifiquement le son émis par la vibration des cordes vocales, l'observation se concentre au niveau laryngé. De nombreux outils permettant de fournir les documents acoustiques nécessaires à l'observation de la voix sont mis à la disposition des phonéticiens. Les études physiologiques observent directement l'organe phonatoire, c'est-à-dire le larynx qui contient les cordes vocales. En contexte de maladie de parkinson, la mélodie et la qualité de la voix sont affectées. Pour Gentil et al. 1995 la rigidité musculaire du larynx et l'atteinte respiratoire seraient à l'origine des perturbations affectant la voix. Les troubles de la parole parkinsonienne les plus précoces affectent les mécanismes laryngo-respiratoires avec principalement une contraction insuffisante des muscles crico-thyroïdiens (Gentil et al. 1995). L'étude morphologique du larynx par Uziel et al. 1975 qui procèdent à un examen laryngoscopique révèle une hypertonie des cordes vocales pour la quasi-totalité des 18 parkinsoniens observés. Les parkinsoniens ont une grande difficulté à maintenir l'adduction des cordes vocales et "...l'accolement des cordes vocales ne se fait souvent que dans leur tiers antérieur, laissant une ouverture glottique phonatoire triangulaire postérieure." Cette étude souligne également l'aspect saccadé et la monotonie (constance des amplitudes) de la parole

parkinsonienne. L'examen du glottogramme confirme une diminution de la surface d'accolement des cordes vocales qui correspond à une configuration typique de l'hypertonie. Certaines études suggèrent que les symptômes de la maladie de Parkinson se manifestent initialement au niveau du larynx avant qu'il y ait de notables altérations au niveau de l'articulation ou d'autres caractéristiques de la parole (Duffy 1995, Zwirmer & Barnes 1992 cités par Harel et al. 2004). La rigidité du larynx a de nombreuses conséquences, elle entraîne notamment un assourdissement des occlusives sonores ou une hypersonorisation des consonnes sonores (Gremy 1958 et Alajouanine et al. 1964 cités par Uziel et al., 1975). Weismer 1984 cité par Gentil et al. 1995 mentionne un voisement de toutes les consonnes sourdes, tandis que Uziel et al. 1975 parlent d'un voisement qui ne perturberait qu'une catégorie de consonnes, c'est-à-dire les occlusives sourdes. Lorsqu'une observation directe des organes est possible, elle permet de mieux comprendre le dysfonctionnement et d'appréhender les conséquences au niveau de la production et de la perception de la parole. Elle est parfois très révélatrice et peut être déterminante. Par exemple, dans l'étude de Uziel et al. 1975, alors que l'oscillogramme du /a/ tenu témoigne du caractère chevrotant de la voix, le tracé du glottogramme présente une courbe normale précisant que le larynx n'est pas affecté par le tremblement et qu'il n'est donc pas à l'origine du chevrotement. Cette observation oscillo-glottographique confirme les résultats de Dordain & Dordain 1972 et de Mueller 1971 cités par Uziel et al. 1975 qui ont démontré également que le larynx n'est pas le siège de tremblements. Darley et al. 1975 rapportent que l'examen laryngoscopique des dysarthriques ne révèle aucune altération de l'apparence ou des fonctions des cordes vocales ni aucun tremblement vocal. L'analyse oscillo-glottographique de Uziel et al. 1975 infirme l'existence de tremblements au niveau du larynx et pourrait aller dans le sens de Dordain & Dordain 1972 cités par Uziel et al. 1975 pour qui le tremblement de la voix est expliqué par des troubles du système ventilatoire et notamment des tremblements des muscles respiratoires voire du diaphragme. La vidéolaryngostroboscopie est utilisée par Yuceturk et al. 2002 afin d'observer en détail le comportement et la configuration des cordes vocales et de leur muqueuse, de l'occlusion glottique, de la vibration des cordes vocales (amplitude, périodicité, symétrie), des fausses cordes vocales et des aryténoïdes pendant l'activité de parole. 70 % d'anormalités sont reportées pour les 30 parkinsoniens sous traitement dopaminergique ayant participé à l'étude contre 45 % pour les 20 sujets témoins. Ce matériel est intéressant pour faire l'évaluation et le suivi des fonctions vocales des parkinsoniens. Chez certains parkinsoniens, une

anormalité physiologique est également remarquée au niveau des cordes vocales qui, même pendant la phonation conservent une large ouverture entre elles (Hanson et al. 1984, Smith et al. 1995). Ce phénomène entraîne une réduction de l'intensité vocale. Les dysfonctionnements laryngés se traduisent soit en des altérations de la qualité de la voix (raucité) soit en des modes phonatoires différents (Logemann & Fisher 1978 cités par Schulz 2002). Les études perceptives rapportent un dysfonctionnement du mode phonatoire en contexte de maladie de Parkinson et mentionnent l'apparition d'autres types de phonation. Celui de « breathiness » correspond à un type de phonation produit avec une tension musculaire très faible dans le larynx, les cordes vocales vibrent mais ne se rencontrent pas complètement, le flux d'air est important, dans ce cas on peut parler aussi de la qualité de voix « breathy », ce type de phonation n'est pas utilisé de manière contrastive dans aucune langue. Nous avons traduit ce terme par « voix murmurée » mais dans ce cas on se réfère plus à l'intensité vocale, on peut dire aussi « voix soufflée » pour se référer à la qualité de la voix. Ce type de phonation est très proche du type « whisper », les analyses acoustiques mentionnent qu'il s'agit d'une phonation caractérisée par une fermeture complète de la partie antérieure (ligaments) de la glotte combinée avec une large ouverture triangulaire dans la partie postérieure (aryténoïdale). Le flux d'air passant à travers l'ouverture produit des bruits de friction caractéristique du « whisper ». Le volume et la vitesse du flux d'air sont plus importants et le son produit est plus fort que pour le « breathy ». La voix « whispery » est linguistiquement contrastive dans beaucoup de langues comme celles du nord de l'Inde. Nous avons traduit ce terme par « voix chuchotée » mais il faut être vigilant car la phonétique anglaise utilise aussi le terme de « murmur » pour se référer à la « whispery voice » ! Les termes de « hoarseness » et de « harshness » sont utilisés indifféremment selon les auteurs, ils désignent soit une qualité de voix soit un type de phonation caractérisée par une hypertension dans le larynx, résultant d'un rapprochement excessif des cordes vocales et aussi parfois d'une vibration des fausses cordes vocales. La vibration des cordes vocales est irrégulière en fréquence et en amplitude ; la voix qui en résulte est grave et rauque. Ce type de phonation peut être combinés avec d'autres types de phonation tels que le type « falsetto » (Fo très haute) ou le type « creak » (battement des cordes vocales à une vitesse très lente). Nous avons traduit ce terme par « voix rauque ». Les termes de « roughness » et de « tremulousness » désignent respectivement une voix grave et tremblante mais ne sont utilisés que par les analyses perceptives et ne correspondent pas à des types de phonation décrits par la phonétique. Comme nous l'avons déjà mentionné (voir §

IV.2.1.b.) contradictoirement, ces phénomènes attestés par les études perceptives engagent une vibration des cordes vocales dans les basses fréquences or les mesures acoustiques témoignent d'une élévation significative de la  $F_0$  chez les parkinsoniens sous-entendant une vibration rapide des cordes vocales. De ce fait, nous pouvons proposer l'interprétation suivante : le dysfonctionnement des muscles laryngés donne une configuration anormale à la fente glottique qui reste partiellement ouverte et l'hypertonie des cordes vocales entraîne une vibration rapide et de faible amplitude. Pour résumer, l'amplitude de vibration des cordes vocales est basse et donne une faible intensité vocale, la vitesse de vibration des cordes vocales est rapide et donne une hauteur de la voix élevée, enfin l'accolement des cordes vocales est partiel et donne l'aspect soufflée de la voix.

#### **IV.3.4. La coordination des mouvements articulatoires**

Le problème de coordination articulatoire est reconnu comme un dysfonctionnement important en contexte de parole dysarthrique. Weismer et al. 2003 observent la coordination des mouvements des lèvres et de la langue pendant la production de la voyelle /u/ auprès de patients anglophones atteints de la maladie de Parkinson et de la sclérose latérale amyotrophique (SLA). L'articulation de la voyelle /u/ sollicite les mouvements articulatoires contradictoires de l'élévation du dos de la langue dans une position postérieure et de la protrusion des lèvres et nécessite une synchronisation des mouvements de la langue et des lèvres. Cette réalisation articulatoire produit un abaissement du deuxième formant sur le document acoustique. Les auteurs utilisent les données du « X-ray microbeam » afin de rendre compte du timing entre les gestes articulatoires en relation avec la position du  $F_2$  de la voyelle. Contre toute attente, la comparaison des données avec celles des sujets témoins montrent une bonne gestion de la coordination des mouvements articulatoires chez les dysarthriques avec une synchronisation moins bien définie et plus variable pour les patients atteints de la SLA.

#### **IV.4. Etudes à partir de données acoustiques et aérodynamiques**

##### **IV.4.1. L'insuffisance respiratoire**

Par l'analyse des mesures de pression, de débit d'air et du signal acoustique les données acoustiques et aérodynamiques permettent d'observer comment les parkinsoniens gèrent le système respiratoire pendant l'activité de production de parole. Les mesures de la cage thoracique

et de la ceinture abdominale ainsi que les mesures de la pression intra-orale effectuées par Solomon & Hixon 1993 cités par Schulz 2002 auprès de parkinsoniens en activité de répétition de syllabes suggèrent une quantité inadéquate de flux d'air provenant dans le tractus vocal. La tâche de production de voyelle tenue permet d'observer le temps de phonation maximal dont sont capables les locuteurs et est un indice de dysfonctionnement respiratoire. Cependant cette tâche de production peut être également utilisée pour mettre en jeu l'activité de phonation afin d'observer des données liés à la vibration des cordes vocales comme l'évolution de la fréquence et de l'intensité par exemple. Mueller 1971 cité par Uziel et al. 1975 rapporte chez les parkinsoniens une réduction significative de la durée de phonation et du volume respiratoire pendant l'émission de la voyelle soutenue /a/ ainsi qu'une réduction progressive de la pression intra-orale pendant l'épreuve de répétition d'une syllabe. Pour lui, les parkinsoniens souffrent d'une énergie aérodynamique réduite qui est insuffisante à une phonation normale. Uziel et al. 1975 ont mesuré la durée moyenne de tenue de la voyelle /a/ chez 18 parkinsoniens et chez 10 sujets sains. Les résultats révèlent que les parkinsoniens ont une capacité de tenue de la voyelle réduite; ils présentent une durée de tenue moyenne de 9 secondes alors que les sujets sains ont une durée de tenue moyenne de 14 secondes. De nombreuses études rapportent que les parkinsoniens en tâche de production de voyelles tenues produisent de plus courtes durées de voyelles par rapport aux sujets témoins (Canter 1965, Boshes 1966, Mueller 1971 cités par Schulz 2002) et concluent sur l'évidence d'un système respiratoire diminué. Les mesures de débit d'air peuvent également rendre compte des problèmes respiratoires que rencontrent les parkinsoniens (Weismer 1997). Le débit de parole renseigne aussi sur l'activité respiratoire des patients. En contexte de maladie de Parkinson, en comparaison aux sujets témoins, il est parfois significativement plus rapide et parfois significativement plus lent selon les personnes (Metter & Hanson 1986). Pour les parkinsoniens qui présentent un débit de parole lent, le ralentissement du débit est causé surtout par une augmentation du temps de pause et moins par la lenteur des mouvements articulatoires (Hammen & Yorkston 1996). De plus, le temps de pause est rallongé par une augmentation du nombre de pauses et non par un allongement de la durée moyenne de pause (Hammen & Yorkston 1996). On peut donc en déduire que les parkinsoniens nécessitent le besoin de faire plus souvent des pauses respiratoires et que donc ils souffrent d'un dysfonctionnement du contrôle respiratoire. D'autre part, les parkinsoniens qui présentent un débit de parole rapide, produisent très rapidement des séquences d'un grand nombre de mots

séparées par des pauses plus longues et plus fréquentes (Metter & Hanson 1986, Hammen & Yorkston 1996). Dans ce cas aussi ce comportement est le signe d'un contrôle respiratoire déficient. L'activité respiratoire pendant la production de parole est difficilement observable de façon isolée, les problèmes laryngés interfèrent considérablement avec les perturbations de la gestion du souffle.

#### **IV.4.2. La résistance laryngée**

Jiang et al. 1999 observent la résistance laryngée en contexte de maladie de Parkinson. Ils procèdent à des mesures de la pression sous-glottique (PSG), du débit d'air buccal et du débit d'air nasal parallèlement à des enregistrements du signal acoustique. Les résultats montrent qu'un tiers des parkinsoniens ne peuvent pas produire les voyelles tenues avec une intensité aussi régulière et haute que celle des sujets témoins. Les données aérodynamiques révèlent que la PSG moyenne des parkinsoniens est significativement plus importante que celle des sujets témoins mais que le débit d'air moyen n'est pas significativement plus important que celui des sujets témoins. Les parkinsoniens utilisent donc une plus grande PSG pour générer un débit d'air identique à celui des sujets témoins. Cette observation permet de faire l'hypothèse de la présence d'une plus grande résistance laryngée chez les parkinsoniens.

#### **IV.4.3. Le contrôle vélopharyngé**

Des études observent des phénomènes d'hypernasalité chez les parkinsoniens et en déduisent une fermeture vélopharyngée inadaptée (Logemann et al. 1978 cités par Schulz 2002, Hoodin & Gilbert 1989). En effet, l'étude de Hoodin & Gilbert 1989 observe le contrôle vélopharyngé chez des parkinsoniens en utilisant des mesures du débit d'air nasal durant la répétition de syllabes. Les données suggèrent que le contrôle vélopharyngé se détériore systématiquement en corrélation avec l'avancée de la maladie. Les parkinsoniens produisent le débit d'air nasal nécessaire pour différencier les consonnes nasales et les consonnes orales mais la distinction n'est plus significative lorsque le débit de parole passe de 1 à 5 syllabes par seconde. Cependant, l'hypernasalité qui a été observée de façon significative chez certains parkinsoniens n'est pas considérée comme une caractéristique de la dysarthrie hypokinétique. Elle peut être un dysfonctionnement supplémentaire mais ne fait pas partie des troubles de la parole liés à la maladie de Parkinson.

#### **IV.5. Apports des données TEP et/ou IFRM**

Avec l'avancée des techniques modernes de neuroimagerie telles que la tomographie par émission de positrons (TEP) et l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), de nombreuses études (Gracco et al. In Press 2005) se mettent en place afin d'observer les mécanismes neuronaux sollicités par le contrôle moteur de la parole. Ces technologies sont de plus en plus utilisées dans l'étude des dysfonctionnements de la parole et notamment en contexte de MPI (Pinto et al. 2004) même si elles rencontrent des problèmes d'artefacts qui sont des phénomènes parasites faussant le tracé de l'appareil enregistreur. Les artefacts sont conséquents en contexte de thérapie chirurgicale à cause de la présence de la stimulation électrique. Une méthode de suppression des artefacts est disponible depuis peu (Garcia et al. 2003). L'étude de Pinto et al. 2004 observe les activations cérébrales grâce à des données recueillies dans un scanner TEP (tomographie par émission de positrons) auprès de 10 parkinsoniens SST (voir § VII.2.1) francophones en état On et en état Off pendant la production de la phase courte et simple « Bébé donne ta poupée ». Les résultats montrent que la dysarthrie est associée à des activations anormales des régions motrices cérébrales (cortex moteur primaire orofacial, cerebellum). Les dysfonctionnements qui surviennent lors des tâches motrices associées aux mouvements de la main sont de nature différente.

***Pour résumer...***

Généralement, les mesures acoustiques de la parole dysarthrique présentent plus de variabilité que celles de la parole normale et les tendances générales sont difficilement déterminées. La correspondance entre les impressions auditives et les données acoustiques n'est pas unilatérale et certains phénomènes perceptifs sont interprétés différemment par les études instrumentales. Les analyses acoustiques décrivent une parole parkinsonienne hypophone et d'intensité monotone. La fréquence fondamentale de la voix parkinsonienne se révèle anormalement élevée très tôt au cours de l'évolution de la MPI et très peu variable. Le débit de parole peut être rapide ou lent mais est très inégal dans les deux cas. La forme rapide s'accompagne de durée de syllabes anormalement brève. La forme lente se caractérise par des bribes de parole isolées séparées par des pauses anormalement longues. Les mouvements articulatoires sont de faibles amplitude et vitesse et rencontrent des problèmes de coordination avec la structure laryngée. Les consonnes occlusives sont prioritairement affectées et font l'objet de phénomènes de spirantisation avec une difficulté de précision et de tenue de l'occlusion de la part des articulateurs. De plus, la vibration des cordes vocales est asymétrique et irrégulière à cause d'une configuration défectueuse de la fente glottique par le dysfonctionnement des muscles laryngés, de l'hypertonie des cordes vocales et de la résistance laryngée. Les statistiques montrent que la sévérité de la dysarthrie n'est pas en corrélation avec la sévérité de la maladie. D'autre part, les études utilisant l'imagerie cérébrale affirment que les mouvements articulatoires engagés par l'activité de la parole et les mouvements des membres engagés par les diverses activités motrices dépendent de soubassements neurologiques distincts.

## **V. La perception en contexte de maladie de Parkinson : un déficit temporel**

L'étude de Gräber et al. 2002 met en évidence un déficit de perception temporelle de la part des parkinsoniens. Les 10 parkinsoniens ayant participé à l'étude se divisent en deux groupes présentant des comportements différents. Une série de 10 stimuli est proposée aux sujets à l'intérieur d'une phrase porteuse. Les stimuli proviennent de la réduction de la durée de l'occlusive « t » dans le mot allemand « boten » variant de 110 à 20 ms par tranche de 10 ms. Les sujets doivent indiquer s'ils entendent « boten » ou « boden » (la non voisée est associée à une durée d'occlusion longue et la voisée à une durée d'occlusion brève). 7 parkinsoniens présentent une identification normale similaire au groupe des 10 sujets témoins. 3 parkinsoniens identifient tous les stimuli, quelle que soit la longueur de la durée de l'occlusive comme « boden » c'est-à-dire avec l'occlusive voisée. D'autre part, ces 3 parkinsoniens présentent un rythme de parole relativement lent se trouvant à la limite de la normalité. Une seconde série est proposée, les stimuli sont réalisés en faisant varier le VOT de l'occlusive initiale dans le mot « tick » de 56 à 20 ms par tranche de 4 ms. Les sujets doivent dire s'ils entendent « tick » ou « dick ». Les parkinsoniens présentent une courbe d'identification similaire à celle des sujets témoins. Le VOT (Voice Onset Time) est plus qu'un paramètre de durée du signal acoustique de parole ; il est porteur d'information linguistique (Lisker & Abramson 1964 cités par Gräber et al. 2002). Une seconde tâche est proposée aux 3 parkinsoniens qui ont échoué l'identification de « boten » dans la première expérience. Ils doivent identifier une nouvelle série de stimuli. 15 stimuli sont réalisés en faisant varier la durée de l'occlusive dans « boten » de 180 à 40 ms par tranche de 10 ms. Les résultats montrent un effet significatif du lieu de la frontière du phonème. Comparés aux autres parkinsoniens et aux sujets témoins, ces 3 parkinsoniens nécessitent une durée d'occlusion considérablement prolongée afin de reconnaître l'occurrence contenant la non voisée « boten ». En effet, on peut dire que c'est à partir d'une durée d'occlusion de 130 ms, que les réponses associées à la reconnaissance de l'occlusive « t » commencent à ne plus être dues au hasard pour ces 3 sujets, alors que pour les autres, « boten » est reconnue à partir d'une durée d'occlusion de 50 ms. Les parkinsoniens font preuve d'une sous-estimation de la durée réelle du silence en milieu de mot durant l'identification de la paire minimale « boten » / « boden » alors que ce n'est pas le cas pour l'occlusive placée à l'initiale du mot « tick » / « dick ». Le déficit d'estimation temporelle dont font preuve les parkinsoniens peut compromettre la perception des sons de la parole. D'autres études ont montré que les parkinsoniens estiment mal les unités temporelles

(Lange et al. 1995, Pastor et al. 1992 cités par Gräber et al. 2002). Gräber et al. 2002 montrent qu'il s'agit d'un déficit du mécanisme rythmique mesurable en dizaines de millisecondes. Certaines études expliquent cela par un ralentissement du timing interne chez les parkinsoniens (Pastor et al. 1992 cités par Gräber et al. 2002). Selon de récentes modélisations (Gibbon & Church 1984, 1990, Meck 1996 cités par Gräber et al. 2002) la sous-estimation d'un temps d'intervalle peut être due à un ralentissement du système rythmique interne (« oscillatory pacemaker »). En tout cas, Gräber et al. 2002 pensent que ces observations à propos des anomalies du timing en contexte de maladie de Parkinson reflètent des déficits cognitifs et qu'elles annoncent un début de démence. Les 3 parkinsoniens ne sont pas plus perturbés dans leurs habiletés verbales intellectuelles ou mémorielles que les autres mais ils ne sont encore qu'au début de l'évolution de la maladie (3, 4 et 6 ans de durée de maladie). Brown & Marsden 1990 cités par Gräber et al. 2002 affirment d'ailleurs que malheureusement la démence commence par ce genre de perturbation. Des dysfonctionnements cognitifs tels que des problèmes d'exécution ou de mémoire de travail vont également émerger très tôt au cours de l'évolution de la maladie. D'autres études documentent la déficience du timing des parkinsoniens quant aux phénomènes moteurs mis en jeu par la production de parole. Des études ont montrés que les parkinsoniens présentent un rythme de parole accéléré pendant la production de phrases et au cours de répétitions de syllabe (Ackermann & Ziegler 1991, Hertrich & Ackermann 1997, Weismer 1984 cités par Gräber et al. 2002). Cependant, les 3 parkinsoniens au schéma anormal de perception ne présentent pas de phénomène de festination (« hastening ») ou d'accélération du débit de parole. Les auteurs pensent qu'il n'y a pas de corrélation exclusive entre la sous-estimation temporelle relevant de la perception et la brièveté des durées des syllabes relevant de la production.

***Pour résumer...***

Les troubles de la parole parkinsonienne sont décrits essentiellement par des études en production de la parole et peu se sont intéressées à l'aspect perceptif de la MPI. Cependant, les parkinsoniens présenteraient un déficit en perception au niveau de la reconnaissance de la durée de certaines unités linguistiques. Cette déficience est un signe d'un dérèglement du timing interne et est un symptôme précurseur de démence.

## **VI. L'intelligibilité de la parole parkinsonienne : l'importance de la tâche de production**

Les tâches de production de parole peuvent être une variable importante à prendre en compte au cours de l'évaluation de la dysarthrie. Les déficits de parole sont constants en contexte de maladie de Parkinson mais les expressions de la dysarthrie varient selon les tâches de production de parole. Par exemple, la condition de parler fort accroît l'intelligibilité (Duffy 1995, Rosenbek & Lapointe 1978 cités par Kempler & Van Lancker 2002). Canter & Van Lancker 1985 cités par Kempler & Van Lancker 2002 ont montré une amélioration de l'intelligibilité d'un parkinsonien \*SST lors de la tâche de lecture en comparaison avec la parole spontanée. Frearson 1985 cité par Kempler & Van Lancker 2002 observe 20 dysarthriques d'étiologies diverses et rapportent également une amélioration de l'intelligibilité en contexte de parole lue par rapport à la parole spontanée. Les observations cliniques rapportent en général une intelligibilité accrue lorsque les dysarthriques parkinsoniens chantent en comparaison de lorsqu'ils parlent (Waters 1994 cité par Kempler & Van Lancker 2002). Les mesures acoustiques confirment l'existence de corrélations entre la dysarthrie et le type de tâche de production de parole. Brown & Docherty 1995 cités par Kempler & Van Lancker 2002 observent chez certains sujets témoins des durées de voyelles plus longues en contexte de lecture mais pas chez les parkinsoniens ainsi qu'un plus long VOT chez les parkinsoniens par rapport aux sujets témoins. Kent et al. 1997 cités par Kempler & Van Lancker 2002 rapportent également un effet du type de tâche de parole sur l'intelligibilité dysarthrique avec une étude menée auprès de sujets touchés par une ataxie cérébelleuse. Leurs résultats montrent que les dysarthriques produisent des syllabes plus longues que les sujets témoins lorsqu'ils sont en tâche de répétition de phrases mais pas lorsqu'ils suivent une conversation. Ils suggèrent que ce sont les différents processus cognitifs engagés lors des différentes tâches linguistiques qui expliquent les différences acoustiques entre les répétitions de phrases et la parole spontanée. Zeplin & Kent 1996 cités par Kempler & Van Lancker 2002 notent que les dysarthriques ne présentent pas les mêmes caractéristiques perceptuelles lorsqu'ils répètent des syllabes ou lorsqu'ils les lisent. L'étude de Kempler & Van Lancker 2002 estime le taux d'intelligibilité d'un parkinsonien anglophone sous traitement dopaminergique (Sinemet) au cours de 5 tâches de production de la parole afin de tester l'effet du type de tâche de production de parole sur l'intelligibilité des dysarthriques. Les 5 tâches proposées sont parole spontanée,

---

\* Un parkinsonien bénéficiant de la stimulation sous-thalamique. Voir § VII.2.1

répétition, lecture, répétition de chanson, chanson spontanée. Les 4 premières tâches mettent en jeu une même phrase qui a été produite par le parkinsonien en parole spontanée et qui est réutilisée pour les autres tâches sauf pour la chanson spontanée. Les enregistrements sont effectués 60 minutes après la prise médicamenteuse. L'échelle d'évaluation de l'intelligibilité dysarthrique « The Assessment of Intelligibility of Dysarthric Speech » de Yorkston & Beukelman 1981 cités par Kempler & Van Lancker 2002 est utilisé par les 64 auditeurs qui ont participé à l'étude afin d'évaluer l'intelligibilité du patient au cours des différentes tâches proposées. Le score est établi grâce à un système de transcription. Les résultats montrent que ce locuteur est significativement moins intelligible lorsqu'il parle spontanément qu'en contexte d'autres tâches de production de parole. En effet les auditeurs déclarent comprendre 29% des réalisations spontanées, 78% des réalisations lues, 79% des réalisations répétées, 80% des chansons répétées et 88% des chansons spontanées. La corrélation entre la tâche de parole et le pourcentage d'intelligibilité s'avère être hautement significative. D'autre part, les analyses acoustiques montrent que le volume de parole est plus fort pour le chant spontané que pour les autres productions de parole mais que le volume seul n'est pas une variable qui affecte l'intelligibilité. En ce qui concerne la longueur de la phrase, elle est significativement plus longue en contexte de parole spontanée que dans les autres tâches de production de parole mais l'intelligibilité n'est pas en corrélation avec la durée moyenne du mot. Les analyses perceptuelles montrent que l'intelligibilité est en corrélation avec les dysfluences repérées. Deux auditeurs ont quantifié la dysfluence des enregistrements. Ils ont repéré les pauses anormalement longues (>1 sec) ou placées de façon inappropriée (à l'intérieur d'un mot), les répétitions et les prolongations. 36% des réalisations contiennent des dysfluences. 40% des dysfluences sont situées en milieu de phrase. La dysfluence est significativement plus importante pour la parole spontanée. L'analyse spectrographique rend compte des différences acoustiques entre les différents types de production de parole. Chaque spectrogramme d'une même phrase produite dans des contextes différents est noté selon une échelle de 1 à 4 par les auteurs. La note 1 correspond à une bonne visualisation et cohérence des formants et des transitions consonantiques. Les spectrogrammes correspondants au chant sont les plus « sains », suivent ceux associés à la lecture, puis ceux associés aux répétitions et enfin ceux associés à la parole spontanée qui sont les plus « abîmés ». De façon prévisible, les tests confirment que l'intelligibilité et la note du spectrogramme sont significativement en corrélation. Le fait que les dysarthriques soient plus intelligibles lorsqu'ils chantent, comme cela

## Chapitre II

### La production de la parole pathologique : la dysarthrie parkinsonienne

a été observé chez les aphasiques et les bègues qui chantent plus aisément qu'ils ne parlent, suggère que le chant et la parole soient contrôlés par des mécanismes cognitifs différents (Albert et al. 1973, Andrews et al. 1982, Belin et al. 1996, Helm-Estabrooks 1983, Naeser & Helm-Estabrooks 1985, Gordon & Bogen 1981, Graves & Landis 1985, Glover et al. 1986 cités par Kempler & Van Lancker 2002). Le chant est généralement accompagné d'un accroissement de la respiration qui est associée à son tour à une augmentation du volume et de la clarté articulatoire. La planification concerne un ordre d'unité plus grand lié au contour mélodique. Le contour intonatif continu du chant réduit la nécessité de l'initiation de séquences et permet de maintenir une continuité de mouvements. Le chant ne demande pas d'effort de réflexion intellectuelle alors que c'est le cas pour la parole spontanée. Frearson 1985 cité par Kempler & Van Lancker 2002 affirme que les études n'observant que la répétition et la lecture ne peuvent pas rendre compte de l'intelligibilité car elles ignorent la fonction communicative.

***Pour résumer...***

L'intelligibilité des parkinsoniens est affectée à différents degrés par la dysarthrie hypokinétique. Les études montrent que l'intelligibilité est meilleure dans certaines tâches de production de parole qui mettent en jeu le volume de parole et l'aspect « irréfléchi » comme le chant spontané.

## **VII. Les effets des différents traitements antiparkinsoniens sur la dysarthrie**

Les traitements pharmacologiques et chirurgicaux proposés aux parkinsoniens améliorent l'akinésie, la rigidité et le tremblement au niveau des membres mais ne sont pas toujours efficaces sur l'activité de parole. Les symptômes axiaux présentent une non réponse aux traitements dopaminergiques (Bonnet et al. 1987, Klawans 1986 cités par Gentil et al. 1995). La dysarthrie fait partie des symptômes dits axiaux comme les troubles de l'équilibre, l'instabilité posturale et les troubles de la marche. Certaines études montrent que la dopathérapie (Klawans et al. 1986 cités par Gentil et al. 1995) ainsi que les traitements chirurgicaux (Nagaseki et al. 1986, Selby 1967 cités par Gentil et al. 1995) peuvent aggraver la dysarthrie alors qu'ils ont des effets bénéfiques constants sur le triptyque des troubles moteurs. Les études divergent dans leurs résultats mais toutes s'accordent à dire que la variabilité intersujet est très importante en contexte de dysarthrie parkinsonienne et qu'elle a une grande part de responsabilité dans la difficulté d'interprétation des résultats.

### **VII.1. Les traitements pharmacologiques**

#### **VII.1.1. La L-dopa**

Le traitement médicamenteux anti-parkinsonien de référence est la L-dopa. Elle a été introduite pour la première fois en 1968. Cette substance est convertie en dopamine à l'intérieur du cerveau pour palier le manque. Le traitement médicamenteux le plus souvent proposé est le Sinemet qui est une combinaison de L-dopa et de carbidopa. La carbidopa prévient le L-dopa pour qu'elle se convertisse en dopamine avant de rejoindre le sang cérébral. La L-dopa réduit considérablement les symptômes parkinsoniens (Djaldetti & Melamed 1988, Ogawa 1998 cités par Goberman et al. 2002). Le traitement dopaminergique est un traitement efficace pour la maladie de Parkinson mais, à long terme, cette thérapie est compliquée par des fluctuations motrices difficiles à contrôler (Gentil et al. 2001). Après une période d'effet positif constant qui peut durer de 2 à 5 ans, les patients peuvent subir des fluctuations au niveau de leurs performances motrices. Selon Gentil et al. 1995 les premières évaluations de l'effet de la L-dopa sur la dysarthrie ont été menées par Rigrodsky & Morrison en 1970 qui constatent une amélioration de la parole spontanée et lue chez des parkinsoniens sous traitement dopaminergique. L'efficacité de la lévodopa au cours de la MPI n'est pas uniformément observée pour tous les symptômes

parkinsoniens. Certains symptômes seraient dus exclusivement à des lésions cérébrales dopaminergiques alors que d'autres tels que la dysarthrie impliqueraient également d'autres types de lésions cérébrales et réagiraient différemment à la L-dopa (Gentil et al. 1998).

#### **VII.1.1.a. La variabilité des données**

De nombreuses études concernant les paramètres de la parole parkinsonienne se heurtent à un problème lié à une importante variabilité des données entre les sujets et toutes s'accordent à dire que les analyses ne peuvent pas s'étendre à la population parkinsonienne dans son ensemble. Les analyses sont contraintes de se focaliser sur des points bien précis prenant en compte de nombreux paramètres tels que l'âge du patient, la durée de maladie, la sévérité des troubles moteurs mais aussi la nature de la tâche de parole proposée, la méthode employée pour le recueil des données, l'étendu du corpus... Bien souvent les résultats pris dans leur ensemble ne permettent pas de tirer de conclusion ni de reconnaître de tendance générale. Par exemple, l'étude de Larson et al. 1994 cités par Goberman et al. 2002 effectuée sur seulement 2 parkinsoniens n'observe pas de corrélation entre les mesures acoustiques et électroglottographiques (Fo moyenne, intensité, jitter, shimmer, quotient d'abduction) et l'état d'enregistrement du patient (Off ou On de L-dopa). Les auteurs reconnaissent que la méthodologie utilisée n'était pas adaptée à ce type de population présentant un échantillon de données trop restreint et une expression de la maladie très différente chez l'un et l'autre des 2 sujets. La méthodologie occupe une place primordiale pour l'obtention de résultats représentatifs de la réalité. En effet, lorsque des données sont recueillies auprès de parkinsoniens, il est important de savoir dans quelle état thérapeutique se trouve le parkinsonien au moment de l'enregistrement. La comparaison On / Off correspond à la comparaison avec et sans traitement, mais, selon les auteurs, la terminologie diffère. Pour certaines études l'état Off correspond à l'état du patient avant la prise médicamenteuse du matin et l'état On correspond à l'état du patient de suite après la prise du matin. Pour certains auteurs c'est le patient lui-même qui détermine son état en donnant ses propres sentiments quant à son état physique en fonction du traitement. Dans ce cas, le parkinsonien est en Off lorsqu'il se sent au plus mal et en état On lorsqu'il se sent au mieux. Certaines études effectuent des mesures des performances motrices du parkinsonien à différents moments durant le cycle médicamenteux et les utilisent pour déterminer les situation Off et On du patient. La plupart des expérimentateurs décident du moment auquel le parkinsonien sera déclaré être en état Off ou On ; ils font un choix qui leur semble approprié et procèdent toujours de la même façon pour chaque recueil de

données. Par exemple, il est très fréquent que le patient soit déclaré être en état Off avant la prise médicamenteuse du matin et en état On 1 heure après la prise médicamenteuse du matin. Pour Goberman et al. 2002, la méthode la plus adéquate est de prendre en compte les fluctuations (voir le chapitre suivant) de la L-dopa pour déterminer à quel moment le patient se trouve en Off et en On. La fluctuation peut être exacerbée par l'anxiété (Marsden et al. 1981 cités par Goberman et al. 2002). L'anxiété peut interférer avec les effets de la L-dopa et causer des changements d'état comme si le patient se trouvait soudainement en état Off (Quinn 1998 cité par Goberman et al. 2002). Avant des sessions d'enregistrement, l'anxiété peut être partiellement contrôlée par le patient grâce à des exercices préparatoires (Inzana et al. 1996 cités par Goberman et al. 2002). Les parkinsoniens se fatiguent très vite. Certaines études témoignent des effets de la fatigue sur les résultats (Cahill et al. 1998, Hunter et al. 1997, Karlsson et al. 1992, Larson et al. 1994, Robertson & Hammerstad 1996 cités par Goberman et al. 2002). La fatigue favorise les fluctuations et les effets sont tels que si le patient passait d'un état Off à un état On (Marsden et al. 1981 cités par Goberman et al. 2002). Kempster et al. 1989 cités par Goberman et al. 2002 considèrent le taux de concentration de dopamine dans le plasma sanguin en fonction des réponses motrices des parkinsoniens. Ils observent un pic de du taux de concentration dopaminergique dans le plasma environ 1.2 heures après la prise de L-dopa du matin. Les auteurs affirment que la réponse motrice s'améliore en fonction de l'augmentation du taux de concentration dopaminergique dans le plasma. Caligiuri 1989 cité par Goberman et al. 2002 recueille un pic de la concentration dopaminergique dans le plasma 1 heure après la prise de L-dopa. Les performances motrices peuvent contribuer à déterminer l'état du patient. Un score moteur bas indique que le sujet est dans un état Off et un score moteur élevé indique que le sujet est dans un état On. Goberman et al. 2002 procèdent de façon originale en prenant la précaution d'observer les données (1) avant la prise de L-dopa du matin c'est-à-dire après 8 heures au minimum de sevrage et environ 30 minutes avant la première prise de médicament de la journée (état Off), (2) 1 heure après la prise dopaminergique du matin (état On1) et (3) 2 heures après la prise (état On2). Cette méthodologie a pour objectif d'être plus représentative des effets de la L-dopa en effectuant des mesures à deux moments distincts au cours de la dopathérapie.

#### **VII.1.1.b. Le phénomène de fluctuation**

A partir de 5 ans de traitement à la L-dopa, on constate de nombreuses fluctuations au niveau des performances motrices des parkinsoniens. Selon Lang & Lozano 1998 cités par Goberman et al.

2002 ce phénomène est effectif chez 50% des patients. Il peut y avoir de nombreuses causes aux fluctuations, mais selon eux, elles apparaissent en général avec l'accoutumance à la L-dopa et la progression de la maladie neurodégénérative. Les fluctuations qui accompagnent le passage de l'état On à l'état Off du parkinsonien sous traitement à La L-dopa sont bien connues et sont caractérisées par leur nature imprédictible. En effet, Djaldetti & Melamed 1998 cités par Goberman et al. 2002 ont remarqué chez des parkinsoniens en état On de L-dopa des chutes soudaines de l'effet de la L-dopa qui se rétablissent très rapidement alors qu'aucune modification n'est apportée au traitement. Les effets secondaires et les fluctuations accompagnant le traitement à la L-dopa ont été examinés surtout au niveau du contrôle moteur des membres et surtout pendant la marche (Blin et al. 1991, Burleigh-Jacobs et al. 1997, O'sullivan et al. 1998 cités par Goberman et al. 2002). Les mesures montrent que la marche est influencée significativement par les fluctuations de la L-dopa et que cette dépendance est prédictible (O'sullivan et al. 1998 cités par Goberman et al. 2002). Par contre, cette corrélation n'a pas été établie au niveau qui nous préoccupe, à savoir entre les effets de la L-dopa et le contrôle moteur de parole. Chritchley 1981 cité par Goberman et al. 2002 affirme que des altérations au niveau de la parole peuvent accompagner les fluctuations dopaminergiques mais ces propos ne se basent sur aucune donnée quantitative. Solomon & Hixon 1993 cités par Goberman et al. 2002 rapportent des jugements perceptifs qui diffèrent au cours du cycle de la médication pour un même sujet. En effet, les caractéristiques de parole jugées défailtantes sont plus nombreuses lorsque le sujet se trouve à la fin de son cycle de médication plutôt qu'au début. Les fluctuations motrices se réalisent dans une alternance de l'état du patient qui passe d'un état Off à un état On avec des variations de la sévérité des troubles moteurs. De nombreux auteurs affirment que ces fluctuations peuvent contribuer à l'aggravation de la dysarthrie (Rigrodsky & Morrison 1970 cités par Pinto et al. 2004, Gentil et al. 1999). Après quelques années de thérapie dopaminergique, l'état On commence son déclin et devient de plus courte durée et le patient se trouve plus souvent en état Off (Marsden & Parkes 1977 cités par Schulz 2002).

#### **VII.1.1.c. Amélioration phonatoire ?**

Wolfe et al. 1975 cités par Goberman et al. 2002 observent une amélioration de la qualité de voix chez des parkinsoniens traités à la L-dopa. Mawdsley 1973 cité par Gentil et al. 1995 rapporte une intensité vocale plus forte et une tenue de voyelles plus longue chez les sujets suivant un traitement à la L-dopa. Mawdsley & Gamsu 1971 cités par Schulz 2002 notent une amélioration

de l'intensité vocale chez les parkinsoniens sous traitement dopaminergique. Peu d'études ont été consacrées à l'observation des effets de la L-dopa sur la phonation, alors que beaucoup ont observé son impact au niveau d'activités motrices quotidiennes telles que la marche, se coiffer, écrire... En 2002, Goberman et al. déclarent ne pouvoir citer aucune autre étude qui aurait observé la phonation avant et après l'introduction du traitement pharmacologique chez des parkinsoniens. Ils signalent toutefois Schulz & Grant 2000 qui ont publié une revue des effets des différents traitements pharmacologiques chez les parkinsoniens mais qui ne mentionnent rien à propos de la phonation.

◆ **La qualité de la voix**

Certaines études montrent que la qualité de la voix est améliorée par la lévodopa (Wolfé et al. 1975 cités par Pinto et al. 2004) avec une diminution de l'hypokinésie laryngée et de la rigidité (Sanabria et al. 2001, Gallena et al. 2001 cités par Pinto et al. 2004). D'autre part, certaines études ne rapportent aucune amélioration phonatoire en corrélation avec le traitement dopaminergique (Poluha et al. 1998 cités par Pinto et al. 2004). Schulz & Grant 2000 et 2002 cités par Pinto et al. 2004 pensent que cette variabilité des résultats peut être due à des réactions individuelles différentes aux différents médicaments et/ou au degré de sévérité de la dysarthrie.

◆ **L'instabilité laryngée**

La Fo peut prendre des valeurs qui oscillent sans se stabiliser. La Fo peut être très instable. Les valeurs prises par la Fo pendant ces moments d'hésitation peuvent être proches ou éloignées les unes des autres. Les termes de « Fo variability » ou de « Fo variation » sont parfois utilisés en référence à la même notion comme c'est le cas dans l'étude de Goberman et al. 2002. La variabilité de la Fo est représentée par l'écart type de la valeur moyenne de la Fo mesurée au cours de la réalisation de voyelles tenues. Cette analyse statistique rend compte de la fréquence de cette variabilité et permet de témoigner de l'instabilité laryngée. D'autre part, l'expression « intensity range Fo » concerne l'étendue des valeurs que peut prendre la Fo. Elle est définie par la différence entre la valeur minimale et la valeur maximale de la Fo. Si cet écart est grand, la Fo présente une grande variation et s'il est restreint la Fo présente peu de variations. Une Fo peut être très variable mais avoir une petite étendue de valeurs et, inversement, une Fo peut être très stable et avoir une grande étendue de variations. Les deux paramètres sont distincts. Pour mesurer les capacités phonatoires d'un sujet, l'« intensity range » peut être mesurée à l'occasion d'une

tâche de répétition d'une voyelle tenue produite aussi doucement que possible sans chuchoter et aussi fort que possible. La différence est établie et constitue l'étendue de la Fo. Jiang et al. 1999 examinent l'effet de la L-dopa sur 15 parkinsoniens en tâche de répétition de la voyelle tenue /i/. Ils rapportent une diminution de la raideur des cordes vocales et une augmentation de la stabilité laryngée après la prise de médicaments (mais on ne sait pas comment ils ont effectué leurs mesures). Sanabria et al. 2001 cités par Goberman et al. 2002 qui ont examiné 20 parkinsoniens en tâche de répétition de la voyelle tenue /i/ montrent que la Fo augmente après la prise de médicaments du matin. Ils relèvent également une diminution de la variation de la Fo en corrélation avec la diminution de la rigidité laryngée qui accompagne la prise de médicaments.

◆ **La rigidité des muscles laryngés**

Certaines études montrent que la Fo mesurée durant la production de voyelles tenues est élevée chez les parkinsoniens Off en comparaison avec les sujets témoins (Doyle et al. 1995, Hertrich & Ackermann 1995 cités par Goberman et al. 2002). Au contraire, Goberman et al. 2002 ainsi que Canter 1963 et Metter & Hanson 1986 cités par Goberman et al. 2002 ne relèvent pas de différence de la Fo pendant la tâche de voyelles tenues mais, par contre, une plus grande Fo chez les parkinsoniens Off que chez les sujets témoins en tâche de lecture et de monologue. La nature de la tâche de parole a donc un effet sur les performances laryngées. Le Dorze et al. 1998 cités par Goberman et al. 2002 ne relèvent pas de différence de la Fo chez leurs sujets en tâche de production de phrases. Les auteurs sont donc en désaccord quand à l'élévation ou non de la Fo chez les parkinsoniens. Duffy 1995 cité par Goberman et al. 2002 pense que les parkinsoniens sont affectés par un problème de rigidité des muscles laryngés, c'est à dire des muscles cricoïde, thyroïde et aryénoïdes, qui provoque une élévation de la Fo. L'auteur explique qu'il est possible que les parkinsoniens subissent une augmentation de la rigidité laryngée lorsqu'ils entreprennent une tâche phonatoire qui engage des mouvements de parole continus tels que pour la lecture et le monologue. Tandis que lorsque la tâche n'implique que peu de mouvements articulatoires telle que pour la tenue d'une voyelle, la Fo n'est pas affectée et reste chez les parkinsoniens proche d'une valeur obtenue par les sujets témoins. Goberman et al. 2002 relèvent une augmentation de l'écart type de la Fo pour les voyelles tenues chez les parkinsoniens Off en comparaison avec les sujets témoins. D'autres études ont relevé également cette augmentation de la variabilité de la Fo chez les parkinsoniens (Doyle et al. 1995, Hertrich & Ackermann 1995, Zwirner & Barnes 1992

cités par Goberman et al. 2002). La variabilité de la Fo traduit une instabilité laryngée qui peut être due à une faiblesse de la musculature laryngée. Goberman et al. 2002 relèvent une diminution de l'étendue de l'intensité chez les parkinsoniens Off en comparaison avec les sujets témoins. Canter 1965 et Solomon & Hixon 1993 cités par Goberman et al. 2002 rapportent la même observation et pensent que les parkinsoniens sont affectés par des dysfonctionnements respiratoires et que ce sont ces problèmes du support physiologique qui sont impliqués dans la réduction de l'étendue de la variation de la Fo. Goberman et al. 2002 pensent que, lorsque une diminution de l'étendue de la Fo est observée pendant la production de voyelles tenues, il est possible que cela soit dû à une contraction insuffisante des muscles laryngés. L'étude de Goberman et al. 2002 concerne 9 parkinsoniens en dopathérapie et 8 sujets témoins parlant l'anglais américains. Cette étude est intéressante car les résultats ne vont pas dans le sens des hypothèses de départ. Nous allons voir pourquoi les analyses n'ont pas confirmé les attentes. La première remarque à retenir concerne le score obtenu à l'UPDRS par les parkinsoniens se trouvant dans des états différents. La section 3 de l'UPDRS (Unified Parkinson's disease rating scale, Fahn et al. 1987) quantifie la sévérité des troubles du contrôle moteur général. Les résultats montrent que pour 8 parkinsoniens sur 9 le score à la section 3 de l'UPDRS est plus bas en On1 que en Off. Ce résultat était prédictible car l'introduction du traitement dopaminergique a des effets immédiats sur les troubles moteurs parkinsoniens. Par contre pour 8 parkinsoniens sur 9 le score à la section 3 de l'UPDRS est plus important en On2 qu'en On1. Le fait que les parkinsoniens soient moins perturbés au niveau moteur 1 heure après la prise médicamenteuse par rapport à 2 heures après la prise est un élément nouveau et inattendu. Il est nécessaire d'appréhender les résultats en sachant que le taux de concentration dopaminergique est donc moins important 2 heures après la prise par rapport à 1 heure après la prise. La comparaison des données des parkinsoniens Off et des sujets témoins révèle que la Fo recueillie en tâches de lecture, de monologue et de répétition de voyelles tenues est plus élevée chez les parkinsoniens Off que chez les sujets témoins. Par contre, les parkinsoniens Off présentent un écart type de la Fo pour les voyelles tenues plus important et une étendue de la Fo plus petite que les sujets témoins. Autrement dit, la Fo est plus instable mais prend des valeurs moins distantes pour les parkinsoniens Off que pour les sujets témoins. Etonnement, alors que l'observation des données chez les parkinsoniens passant de l'état Off à l'état On1 permet d'assister à une baisse de la valeur de la Fo et de sa variabilité ainsi qu'à une augmentation de l'étendue de la variation de la

Fo, les traitements statistiques s'avèrent non significatifs. L'observation détaillée des résultats permet de comprendre pourquoi aucune tendance générale ne peut être retenue ; le comportement de la Fo varie selon le type de tâche de parole. Pour les voyelles tenues, les parkinsoniens présentent une augmentation de la Fo lorsqu'ils passent de l'état Off à l'état On1. Sanabria et al. 2001 cités par Goberman et al. 2002 ont relevé les mêmes résultats et pensent que l'augmentation de la Fo pendant la réalisation de voyelles tenues peut être attribuée à une diminution de la rigidité laryngée et respiratoire grâce à la prise de médicaments. Cette hypothèse va dans le sens du score à l'UPDRS qui montre une baisse de la rigidité générale pour les parkinsoniens passant de l'état Off à l'état On1. Cependant, on verra plus tard dans quel contexte certaines études peuvent mettre en corrélation une augmentation de la Fo avec une augmentation de la rigidité (Metter & Hanson 1986 cités par Goberman et al. 2002). Pour Garret & Healey 1987 cités par Goberman et al. 2002 l'augmentation de la Fo s'effectue en fonction non pas de la progression de la rigidité mais du moment de la journée. Ils montrent que la Fo augmente progressivement du matin au soir. Hall 1995 cité par Goberman et al. 2002 obtient les mêmes résultats mais seulement pour les parkinsoniens de sexe féminin et explique cette évolution par un effet de mise en route ou d'échauffement de la voix qui s'effectue au cours de la journée (« vocal warm-up effect accross time »). Si l'on accepte son hypothèse, l'augmentation de la Fo pour les voyelles tenues que l'on observe chez les parkinsoniens passant de l'état Off à l'état On1 peut être due à cet effet d'échauffement de la voix qui « entraîne » la phonation tout au long de la journée. D'autre part les résultats de Goberman et al. 2002 montrent aussi que la variabilité de la Fo est plus importante chez 3 sujets parkinsoniens que chez les sujets contrôles et que pour ces 3 sujets, elle diminue avec la prise de médicament c'est-à-dire lorsque le sujet passe de l'état Off à l'état On1. Cette baisse de la variabilité de la Fo témoigne d'un gain de stabilité des muscles laryngés, d'une meilleure fermeture vocale ou de la diminution de la faiblesse des parkinsoniens. Cette observation apporte des informations supplémentaires car nous pouvons donc dire que la Fo baisse avec la prise de L-dopa lorsqu'elle est plus haute que la normale chez le parkinsonien en état Off. De la même façon, pour les 2 parkinsoniens Off qui présentent une étendue de la Fo plus courte que celle des sujets témoins, l'étendue de la Fo est augmentée lorsque les parkinsoniens passent en état On1, autrement dit, avec la prise de médicament. Solomon & Hixon 1993 cités par Goberman et al. 2002 pensent que la L-dopa diminue la rigidité au niveau de la cage thoracique et en augmente la mobilité. De ce fait les parkinsoniens ont plus de facilité à faire

varier l'intensité. L'hypothèse n'attendait aucune différence entre les données relevées chez les parkinsoniens en état On1 et en état On2. L'observation des données confirme cette prédiction mais pas les traitements statistiques qui restent partiellement non significatifs. La légère augmentation de la Fo durant la production de voyelles tenues que les auteurs observent chez 7 parkinsoniens sur 9 serait due à la mise en route de la phonation qui s'effectue dès le matin (Garret & Healey 1987, Hall 1995 cités par Goberman et al. 2002). Pour Marsden et al. cités par Goberman et al. 2002 la L-dopa commence à prendre effet 2 à 4 heures après la prise médicamenteuse. L'observation des résultats montre que 7 sujets sur 9 présentent une légère augmentation de la Fo en tâche de lecture et 6 sujets sur 9 en tâche de monologue lorsqu'ils passent de l'état On1 à l'état On2. Les auteurs pensent que cette augmentation de la Fo peut être un indice de la perte de l'effet du traitement médicamenteux s'accompagnant d'une augmentation de la rigidité laryngée mais qu'elle peut également être le résultat de la mise en route de la phonation. Pour 5 parkinsoniens l'écart type de la Fo est stable chez les parkinsoniens qui passent de l'état On1 à l'état On2. Nous pouvons penser que la L-dopa n'affecte pas l'écart type de la Fo mais nous pouvons supposer aussi que l'écart type de la Fo se soit stabilisé en On1. Pour 3 parkinsoniens la Fo diminue en On2, cette diminution peut être expliquée par un retard de l'effet de la L-dopa. En résumé, cette étude montre qu'il y a un effet de la tâche de parole. La Fo est plus haute chez les parkinsoniens que pour les sujets témoins en tâche de lecture et de monologue mais pas pour la réalisation de voyelles tenues. La tâche de voyelles tenues rend compte de l'effet de l'échauffement ou de la mise en route de la phonation qui s'accompagne d'une augmentation progressive de la Fo au cours de la journée. Pour les parkinsoniens ainsi que pour les sujets témoins, la tendance est une Fo plus importante lorsque les sujets produisent des voyelles tenue que lorsqu'ils sont en tâche de lecture et une Fo plus importante lorsqu'ils sont en tâche de lecture que lorsqu'ils produisent un monologue. De façon similaire, Sapienza & Stathopoulos 1995 cités par Goberman et al. 2002 rapportent chez les femmes qui ont des nodules vocaux une Fo plus grande en tâche de voyelles tenues que en tâche de lecture. Zraick et al. 2000 cités par Goberman et al. 2002 font la même remarque chez des sujets témoins hommes. Il est important de prendre en compte la nature de la tâche de production de parole lorsqu'il s'agit d'effectuer des mesures de la Fo. L'analyse est meilleure lorsque l'observation est effectuée sujet par sujet en prenant en compte l'évolution de chacun et non pas la tendance générale. Les analyses de groupes brouillent les pistes de l'interprétation des résultats. Jiang et al. 1999 observent de

mesures électroglottographiques et acoustiques effectuées auprès de 15 parkinsoniens présentant des signes de tremblement en tache de tenue de voyelle avec et sans traitement à la L-dopa. Les résultats montrent une diminution de la rigidité laryngée et une diminution des fluctuations de l'amplitude à court et à long terme chez les parkinsoniens sous traitement à la L-dopa.

#### **VII.1.1.d. Amélioration des mouvements articulatoires de la parole ?**

Selon les auteurs, les mouvements articulatoires gagnent en vitesse, en ampleur et/ou en précision sous l'effet du traitement dopaminergique. Les articulateurs sont des muscles et il est probable qu'ils profitent de l'effet bénéfique de la L-dopa sur la rigidité des muscles comme cela a été montré au cours de la marche ou pour l'écriture. Selon l'étude électromyographique de Leanderson et al. 1971 cités par Gentil et al. 1995 l'hyperactivité des muscles oraux-faciaux est réduite chez les sujets sous traitement à la L-dopa. Nakano et al. 1973 cités par Gentil et al. 1995 rapportent également une réduction de l'activité hypertonique chez les sujets traités à la L-dopa mais plus précisément au niveau des lèvres et constatent une amélioration de l'intelligibilité. Caligiuri 1989b cité par Gentil et al. 1995 confirment la diminution de la rigidité labiale et l'augmentation de l'amplitude du mouvement et de la vitesse d'exécution sous l'effet de la L-dopa. L'analyse cinématique des mouvements de la mâchoire de Svensson et al. 1993 cités par Gentil et al. 1995 a repéré un seul élément de différence entre les sujets sous l-dopa et les sujets sevrés de L-dopa. C'est le pic de vitesse qui diffère significativement entre les deux situations d'enregistrement. D'autre part, Gentil et al. 1998 ont voulu comparer l'efficacité de la lévodopa sur les doigts et sur les mouvements orofaciaux en contexte de MPI. Les muscles orofaciaux et les doigts répondent à la lévodopa et cette sensibilité indique l'origine de lésions dopaminergiques sous-jacentes. Les auteurs estiment la production de forces des index droit et gauche, des lèvres supérieure et inférieure, et de la langue chez 14 parkinsoniens avec et sans traitement médicamenteux Madopar® 125. Les effets bénéfiques du traitement dopaminergique sur la mobilité des doigts sont indiqués par une amélioration du score au test moteur et par une augmentation de la production des forces. Par contre, la production des forces orofaciales n'est pas améliorée ni aggravée par la lévodopa. Ces résultats suggèrent que des lésions cérébrales de nature non-dopaminergique participent également aux altérations de la parole parkinsonienne. Cependant le temps de réaction est plus court pour les parkinsoniens en état On pour les forces générées par les organes articulatoires, par contre, cette différence n'est pas constatée pour les mouvements des index. Les observations à propos de l'augmentation de la force produite par les

doigts sous l'influence du traitement dopaminergique sont en accord avec celles de Corcos et al. 1996 cités par Gentil et al. 1998. Les mesures électrophysiologiques de Gentil et al. 1998 favorise l'hypothèse selon laquelle la lévodopa ne semble pas améliorer la dysarthrie alors qu'elle améliore les symptômes moteurs classiques et spécialement l'akinésie. Les parkinsoniens présentent des difficultés à tenir une force constante au niveau des doigts et aussi au niveau des organes articulatoires. Milner-Brown et al. 1979 cités par Gentil et al. 1998 rapportent que même pendant le maintien d'une force volontaire certaines unités motrices cessent d'être activées pendant un certain temps ou sont activées par des fréquences anormales hautes. Il faut prendre en compte le fait qu'il y a des différences entre les muscles des mains et les muscles orofaciaux, surtout au niveau des muscles souples fuselés (Kubota et al. 1975 cités par Gentil et al. 1998). A l'intérieur du système nerveux central, le contrôle moteur orofacial et celui des muscles de la main ne sont pas les mêmes. De plus hautes fréquences sont libérées par les unités motrices des muscles innervés par le VII<sup>e</sup> nerf (Blair 1988 cité par Gentil et al. 1998). Les dysfonctionnements s'expriment différemment au niveau des doigts et au niveau des organes articulatoires et répondent différemment à la L-dopa, ils seraient donc dépendants de lésions d'origines distinctes (Gentil et al. 1998). La lévodopa fait chuter l'hyperactivité tonique des muscles labiaux (Leanderson et al. 1971 cités par Pinto et al. 2004) et restaure le contrôle moteur des lèvres (Leanderson et al. 1972 cités par Pinto et al. 2004). Une réduction du temps de réaction (Nakano et al. 1973 cités par Pinto et al. 2004) ainsi qu'une augmentation de la contraction (Cahill et al. 1998 cités par Pinto et al. 2004) sont également perçus au niveau des lèvres après la prise de lévodopa. La rigidité des lèvres est immédiatement réduite avec la prise de lévodopa (Caligiuri 1989 cité par Pinto et al. 2004). De nombreuses études montrent que la force des organes articulatoires n'est pas augmentée par la prise de lévodopa (De Letter et al. 2003, Gentil et al. 1999, Gallena et al. 2001 cités par Pinto et al. 2004). Nakano et al. 1973 cités par Schulz 2002 rapportent un temps d'initiation des mouvements labiaux plus court et une augmentation de la vitesse et de la symétrie de l'activité labiale. Cahill et al. 1998 cités par Schulz observent une augmentation de la pression labiale avec l'administration de L-dopa durant l'activité de parole mais aussi durant d'autres types de tâches. Par contre, selon Gentil et al. 1999 la L-dopa n'a pas d'effet sur la force des lèvres ni sur celle de la langue. En définitive, la force peut être améliorée si une diminution de l'hyperactivité des muscles labiaux accompagne la prise de L-dopa. Caligiuri & Abbs 1986 cités par Schulz n'observent aucune amélioration au niveau des

mouvements articulatoires des lèvres alors que la rigidité labiale continue à diminuer au cours du cycle médicamenteux.

#### **VII.1.1.e. Amélioration prosodique ?**

La prosodie est définie comme l'utilisation des trois paramètres vocaux : hauteur, intensité et durée. Des anomalies prosodiques sont relevées par la majorité des auteurs et beaucoup s'intéressent aux effets de la L-dopa sur la prosodie de la parole parkinsonienne. En effet, la prosodie étant une source d'information linguistique et affective elle tient un rôle déterminant dans la communication et a une valeur sociale importante. Rigrodsky & Morrison 1970 cités par Gentil et al. 1995 qui ont les premiers évalué les effets de la L-dopa sur la parole parkinsonienne, ont procédé à une étude perceptive de la production orale de 21 parkinsoniens en dopathérapie. Ils rapportent que, lorsque la dose de L-dopa est maximale seule la vitesse de parole est améliorée significativement et ils ne dégagent qu'une légère tendance à une amélioration générale de la parole. Au contraire, Wolf et al. 1975 cités par Gentil et al. 1995 déclarent que la L-dopa n'a pas d'effet sur la vitesse de parole mais plutôt sur la qualité de la voix, la mélodie et l'articulation. Par contre, d'autres auteurs attribuent de bons résultats à la L-dopa au niveau de la durée et de la régularité de la parole (Mawdsley & Gamsu 1971 cités par Gentil et al. 1995). L'étude de cas réalisée par Metter & Hanson 1986 auprès d'un dysarthrique hypokinétique sous traitement dopaminergique rend compte d'une certaine amélioration au niveau de la parole. En état On, le parkinsonien parle avec un débit de parole lent (96 mots par minute) présente une dysphonie prédominante qui est hyperphonique avec une fréquence fondamentale relativement haute selon l'échantillon de lecture. En état Off, le parkinsonien passe d'une intelligibilité bonne à modérément perturbée. Son débit de parole se ralentit avec une augmentation du temps d'articulation et du temps de pause. La précision articulatoire décroît, ainsi que la prosodie et l'intensité. Aucune différence n'apparaît pour la fréquence fondamentale moyenne, la variabilité de l'intensité et le pourcentage de temps de pause. D'autre part la tenue de la voyelle est 7.70 secondes en On et de 51 % moins longue en Off : 3.79 secondes. Ces observations illustrent les changements qui s'opèrent au niveau de la parole sous l'influence du traitement médicamenteux. Wolfe et al. 1975 cités par Pinto et al. 2004 rapportent une augmentation de la variation des fréquences mais pas d'augmentation du débit de parole. Au niveau de la dysfluente de la parole parkinsonienne, les études montrent des variations en fonction de la concentration de dopamine dans le cerveau (Goberman & Blomgren 2003 cités par Pinto et al. 2004). L'étude acoustique de

Sanabria et al. 2001 cités par Pinto et al. 2004 observe une réduction significative de la variabilité de l'intensité et de l'index de tremblement.

#### **VII.1.1.f. Amélioration du débit de parole ?**

Mawdsley & Gamsu 1971 cités par Schulz 2002 rapportent une meilleure distribution des pauses et des temps de parole chez des parkinsoniens sous traitement dopaminergique. Peu d'études se sont intéressées au comportement du débit de parole sous l'effet du traitement de façon isolée.

#### **VII.1.1.g. Amélioration de la gestion du souffle ?**

Solomon et al. 1993 cités par Gentil et al. 1995 constatent une circulation de l'air inadéquate pendant l'activité de parole chez des parkinsoniens sous traitement à la L-dopa qui présentent, en comparaison à des sujets témoins, un volume de la cage thoracique inférieur et un volume abdominal supérieur. Il n'est pas systématique de constater des différences significatives au niveau de la respiration (hors contexte de phonation) entre la fin et le milieu du cycle de la lévodopa. Solomon & Hixon 1993 cités par Pinto et al. 2004 relèvent des variations de l'activité respiratoire pendant la production de parole au cours du cycle de la lévodopa. Vercueil et al. 1999 cités par Pinto et al. 2004 rapportent des améliorations du fonctionnement du diaphragme pendant la respiration hors contexte de phonation mais aussi des perturbations des muscles intercostaux après la prise médicamenteuse.

#### **VII.1.1.h. Amélioration de l'intelligibilité ?**

Les études sont en désaccord quant aux effets de la L-dopa sur la parole mais nombreuses sont celles qui relatent des effets positifs au niveau de l'intelligibilité générale du parkinsonien liés à l'introduction du traitement dopaminergique (Mawdsley & Gamsu 1971, Nakano et al. 1973 cités par Goberman et al. 2002). D'autres auteurs restent mitigés comme Quagliari & Celesia 1977 cités par Goberman et al. 2002 qui n'observent que quelques différences du score global de parole entre des corpus recueillis avant et après l'introduction du traitement. Mawdsley & Gamsu 1971 cités par Pinto et al. 2004 ont observé une augmentation du volume de parole auprès de parkinsoniens sous traitement dopaminergique et rapportent également une amélioration au niveau de l'intelligibilité des patients. Des améliorations au niveau de l'expression du visage sont rapportées par Fetoni et al. 1997 cités par Pinto et al. 2004.

### **VII.1.1.i. Amélioration sur le système proprioceptif ?**

De nombreuses études montrent que les parkinsoniens présentent un déficit auditif dans le sens où ils n'ont pas conscience de parler moins fort qu'avant de contracter la maladie de Parkinson (Goldsmith & Joyce 1996 cités par Schulz 2002). Il n'est pas rare que les parkinsoniens se plaignent de la surdité de leur entourage mais ils ont, en réalité, une mauvaise appréciation de leur intensité vocale. Une amélioration du volume de parole est observée chez des parkinsoniens ayant pris du Mirapex (pramipexole, agoniste dopaminergique) qui est due à une amélioration du système proprioceptif auditif et/ou à une amélioration des mouvements de la mâchoire (Schulz 2002).

### **VII.1.1.j. Effet à court et à long termes de la L-dopa**

La L-dopa a à court terme une influence favorable sur la dysarthrie dans le sens où elle améliore la qualité de la voix, l'intonation et l'articulation (Wolfe et al. 1975 cités par Schulz 2002). Alors que la découverte de la lévodopa a révolutionné le traitement de la MPI, à long terme la thérapie dopaminergique rencontre des complications avec l'apparition de fluctuations motrices difficiles à contrôler et la lévodopa peut même à un certain stade favoriser la dyskinésie (Gentil et al. 1999). Des cas ont été rapportés pour lesquels la parole aurait été améliorée à un certain moment puis se serait aggravée au bout d'un certain temps de traitement à la L-dopa. L'apparition de difficultés multiples serait enrayée avec la diminution des doses de L-dopa (Marsden & Parkers 1976, Critchley 1976 cités par Gentil et al. 1995). L'étude de cas de Metter & Hanson 1986 enregistre un patient sous traitement dopaminergique sur une période de 4 ans. Les résultats montrent une progression de la maladie au cours du temps avec un score de Webster qui passe en 4 ans de 7 à 13 (de bénin à modéré). Cette progression de la maladie est associée à un accroissement de la rigidité et de la difficulté de la marche. Le patient commence également à avoir des phénomènes On-Off. Les mesures acoustiques montrent que son débit de parole a ralenti et que la fréquence fondamentale a augmenté mais ne relèvent pas d'autres perturbations supplémentaires. La progression de certains aspects de la maladie peut s'effectuer de façon indépendante par rapport à la dysarthrie. Les parkinsoniens montrent une réponse favorable à la lévodopa en début de traitement. Après 10 ans de progression de la maladie, les symptômes classiques tels que akinésie, rigidité et tremblement, sont toujours améliorés par la thérapie dopaminergique alors que les signes axiaux comme la dysarthrie s'empirent pour la plupart des

patients (Klawans 1986 cité par Pinto et al. 2004). La dysarthrie résulte de la dégradation progressive de lésions dopaminergiques et non-dopaminergiques (Suchowersky 2002 cité par Pinto et al. 2004). Après 4 ans de traitement à la L-dopa 75 % des parkinsoniens commencent à ressentir une baisse d'effet du traitement (Wolfe et al. 1975 cités par Schulz 2002) avec notamment les phénomènes de fluctuation qui gagnent en fréquence.

#### **VII.1.1.k. Quelles aggravations de la dysarthrie liées à la L-dopa ?**

De nombreuses études n'observent aucune amélioration chez les patients sous traitement dopaminergique. C'est le cas pour Daniels et al. 1996 cités par Schulz 2002 qui décrivent une intensité basse, une variabilité réduite de la Fo et de l'intensité ainsi qu'une voix chuchotée et rauque chez les parkinsoniens qu'ils soient en état Off L-dopa ou en état On L-dopa. D'autres études ne rapportent aucune amélioration concernant le niveau laryngé au cours du cycle médicamenteux (Larson et al. 1994, Poluha et al. 1998 cités par Schulz 2002). Il est possible que pour certains patients sous traitement dopaminergique aucune amélioration de la parole ne soit observée (Quagliari & Celesia 1977 cités par Pinto et al. 2004). D'autre part, des complications peuvent apparaître après quelques années de traitement à la lévodopa telles que dyskinésie orofaciale ou respiratoire et dystonie oromandibulaire (Marsden & Parkes 1976 cités par Pinto et al. 2004), dysphonie (Critchley 1976 cité par Pinto et al. 2004), et bégaiement neurogénique (Anderson et al. 1999, Benke et al. 2000 cités par Pinto et al. 2004). Critchley 1976 cité par Schulz 2002 rapporte un pic de dysphonie chez des parkinsoniens auxquels de la L-dopa a été administrée.

#### **VII.1.2. Autres traitements pharmaceutiques**

La drogue développée pour traiter la Maladie de parkinson renforce la dopamine (agonistes dopaminergiques) ou remplace la dopamine (L-dopa) qui est absente dans le cerveau du patient. Les traitements associés sont des agents anticholinergiques, des inhibiteurs monoamine oxydase-B (MAO-B), et des inhibiteurs catechol-O-méthyl transférase (COMT). La pharmacothérapie la plus ancienne est les médicaments anticholinergiques qui agissent en réduisant le tremblement en bloquant l'action des acétylcholines (ACh) qui sont prédominantes à cause du déficit en dopamine (Stern & Lees 1990 cités par Schulz 2002). Deux anticholinergiques connus sont le trihexyphenidyl (Artane) et le bengtropine (Cogentin). Une amélioration de l'intensité maximale et du débit de parole est observée de façon perceptible chez

les parkinsoniens sous traitement à l'Artane. Des études objectives ont montré de petites améliorations significatives de l'articulation après l'administration d'agents anticholinergiques (Brumlik et al. 1964, Critchley 1981 cités par Schulz 2002). Les inhibiteurs MAO-B comme la sélégiline (Deprenyl) inhibe la dégradation de la dopamine et peut prolonger l'effet antiparkinsonien de la L-dopa. Les inhibiteurs COMT comme le tolcapone (Tasmar) augmentent aussi le temps d'action de la L-dopa (Jankovic & Marsden 1993 cités par Schulz 2002). La sélégiline est connue pour améliorer le débit et l'amplitude des mouvements articulatoires (Shea et al. 1993 cités par Schulz 2002). Le Deprenyl n'a pas d'effet sur les mesures acoustiques des parkinsoniens qui ne prennent pas de L-dopa (Stewart et al. 1995 cités par Schulz 2002). Le Mirapex (pramipexole) qui est un agoniste dopaminergique améliore le score UPDRS et a des effets positifs sur les systèmes orofacial et auditif et sur la parole (Lieberman et al. 1997 cités par Schulz 2002). L'effet du clonazepam a été testé par Biary et al. 1988 cités par Gentil et al. 1995. Ils rapportent un effet bénéfique sur l'articulation et sur la vitesse de parole chez les parkinsoniens lorsque la dose n'excède pas 5mg, au-delà le clonazepam est reconnu inefficace. Des traitements non dopaminergiques sont également proposés aux patients comme la sélégiline. L'effet de la sélégiline a été testé par Shea et al. 1993 cités par Gentil et al. 1995 qui ne mentionnent aucun effet sur l'intonation et la prosodie parkinsonienne mais observent une amélioration de l'articulation ainsi qu'une amélioration des fonctions respiratoires. Callaghan et al. 1975 cités par Pinto et al. 2004 rapportent qu'une amélioration de la parole a été perçue suite à l'administration conjointe de piribedil et d'amantadine ou de lévodopa. La pergolide avec ou sans association à la lévodopa n'a pas d'effet sur la dysarthrie (Jeanty et al. 1984 cités par Pinto et al. 2004). La coadministration de bromocriptine et de lévodopa semble améliorer la dysarthrie selon certaines évaluations perceptives (Gauthier & Martins 1982, Selby 1989 cités par Pinto et al. 2004). L'apomorphine n'entraîne aucune amélioration laryngée ni articulatoire (Kompolti et al. 2000 cités par Pinto et al. 2004). Brumlik et al. 1964 cités par Pinto et al. 2004 rapportent une augmentation de l'intensité maximale et du débit de parole chez des parkinsoniens prenant du trihexyphenidyl.

## **VII.2. Les traitements chirurgicaux**

Selon la plupart des auteurs les effets de la chirurgie sur la parole parkinsonienne sont plutôt défavorables. Cependant, il est important de faire la distinction entre les différentes interventions chirurgicales qui ont été proposées aux parkinsoniens car les dernières avancées ont totalement

bouleversé la prise en charge de la maladie de Parkinson et de la dysarthrie parkinsonienne. Le traitement chirurgical de la maladie de Parkinson a bénéficié des avancées dans la compréhension des ganglions de la base et de leur rôle dans la pathogenèse de la maladie de Parkinson et des améliorations de l'imagerie et des techniques chirurgicales. Les progrès de la recherche ont permis de mieux comprendre le rôle des ganglions de la base et a contribué à la mise en place des procédures neurochirurgicales fonctionnelles en contexte de traitement de la MPI.

### **VII.2.1. La stimulation cérébrale**

La nature de cible de la Stimulation a un rôle dominant dans le contrôle du système moteur (Gentil et al. 1999). Des effets variables ont été observés en fonction de la cible de la stimulation : noyau ventral intermédiaire du thalamus ou VIM, partie postéroventrale du globus pallidus interne ou GPi et partie dorsolatérale du noyau subthalamique ou NST. Par exemple, la stimulation du VIM est efficace contre le traitement parkinsonien mais favorise la dysarthrie (Benabid et al. 1996, Pfann et al. 1996 cités par Gentil et al. 1999, Taha et al. 1999, Limousin et al. 1995 cités par Pinto et al. 2004). De récentes études montrent que la stimulation bilatérale du VIM cause plus de dysarthrie que la procédure unilatérale (Obwegeser et al. 2001, Putzke 2003 cités par Pinto et al. 2004). La stimulation du GPi engage une amélioration de la parole pour Gross et al. 1997 cités par Pinto et al. 2004 et, à l'inverse, une aggravation de la dysarthrie pour Ghika et al. 1998, Krause et al. 2001 cités par Pinto et al. 2004. Depuis 1993, c'est la stimulation du NST qui est utilisée pour traiter les parkinsoniens qui subissent de sévères fluctuations motrices. Aujourd'hui la SST consiste en une stimulation chronique à haute fréquence d'une électrode bilatérale stéréotaxique implantée dans le noyau sous-thalamique. La stimulation du NST est efficace pour les symptômes majeurs de la maladie : bradykinésie, rigidité et tremblement et améliore considérablement les perturbations motrices (Gentil et al. 1999, Limousin et al. 1995, 1998, Krack et al. 1997 cités par Gentil et al. 2001). La stimulation du NST ou stimulation sous-thalamique (SST) a un effet bénéfique sur la MPI qui s'exprime dans l'amélioration du score à l'UPDRS.

#### **VII.2.1.a. Des effets bénéfiques ou négatifs sur la parole ?**

Alors que les effets de la SST sur les membres sont connus, l'effet précis de la SST sur le contrôle oral ne l'est pas (Gentil et al. 1999). Des améliorations mais également des aggravations de l'intelligibilité des patients sont observées après la mise en place de la SST (Rousseaux et al.

2004 cités par Pinto et al. 2004). Peu de données quantitatives relatives à la parole de parkinsoniens traités par SST ont été recueillies à ce jour. Il est important d'évaluer la parole des parkinsoniens SST parce que nous savons que d'autres procédures chirurgicales proposées en traitement de la MPI ont des effets nuisibles sur la parole (Gentil et al. 1999). Selon l'article de Gentil et al. 1995, à cette date aucune étude n'avait encore analysé les effets de la stimulation sur la dysarthrie et les deux seules références accessibles à cette époque étaient celles de Guiot et al. 1961 et de Schaltenbrand 1975 qui décrivent les stimulations des structures thalamiques au cours de chirurgie stéréotaxique accompagnées soit d'un arrêt soit d'une accélération de la parole. Gentil et al. 2001 reconnaissent une amélioration de la parole parkinsonienne sous l'effet de la stimulation bilatérale du NST. Des phénomènes d'hésitation dans l'initiation de parole sont observés chez des parkinsoniens SST (Moretti et al. 2003 cités par Pinto et al. 2004). Selon Pinto et al. 2004, les activations cérébrales anormales observées par les données TEP seraient tempérées par la stimulation haute fréquence et des effets bénéfiques sont attendus lorsque le choix de la zone de stimulation est porté sur le NST. Les auteurs s'accordent à dire que la dysarthrie est moins sensible à la stimulation cérébrale que le dysfonctionnement moteur des membres. Selon Gentil et al. 2003, l'effet de la stimulation bilatérale du NST est largement bénéfique sur la parole et plus spécifiquement sur la voix avec une amélioration des fonctions phonatoire et respiratoire. Nous allons voir en quoi, de façon plus précise, la SST améliore la parole dysarthrique.

#### **VII.2.1.b. Les effets sur le score UPDRS, Section III, sous-section 18**

L'UPDRS (Unified Parkinson's Disease Rating Scale) est une échelle multidimensionnelle clinique utile pour le suivi de la maladie de Parkinson et lors des évaluations thérapeutiques. Elle est divisée en 6 sections et la section III évalue spécifiquement les désordres moteurs. A l'intérieur de la section III, la sous-section 18, évalue perceptivement la parole selon une échelle de 0 à 4 (Voir § I.5). Gentil et al. 2001 constatent que les effets de la SST sont révélés par l'amélioration du score des parkinsoniens qui passent d'un état On à un état Off. Pour cette rubrique de l'UPDRS, leurs observations portant sur 26 parkinsoniens rapportent un score moyen de 2 pour les parkinsoniens sans SST (Off) et de 1 pour les parkinsoniens avec SST (On). L'amélioration du contrôle moteur sous l'effet de la stimulation bilatérale du noyau sous-thalamique indique que les syndromes parkinsoniens sont réceptifs à la SST. Cependant, les auteurs remarquent que des mesures acoustiques seraient nécessaires afin d'estimer précisément

les désordres de parole, en particulier ceux affectant la voix.

#### **VII.2.1.c. Les effets sur les mouvements articulatoires**

La force des articulateurs est l'une des variables contrôlées par le système nerveux à l'intérieur du système moteur de production de la parole (Stein 1982 cité par Gentil et al. 1999). Afin d'estimer les effets de la SST sur le système oral des parkinsoniens, Gentil et al. 1999 ont entrepris une étude qui consiste à relever des mesures des forces engendrées par les organes articulatoires, spécifiquement des lèvres et de la langue à l'aide de transducteurs de force. L'évaluation des forces engendrées par le système oral or contexte de parole (sans doute en effectuant des mouvements des articulateurs) a été reconnu utile pour juger des effets des thérapies proposées au niveau de la mobilité des lèvres, de la mâchoire et des muscles de la langue chez les personnes présentant des désordres moteurs de parole (Luschei 1991 cité par Gentil et al. 1999). Les auteurs demandent aux 10 parkinsoniens SST de générer des forces de différentes importances (unité de mesure des forces : N) en réponse à un signal aussi rapidement et précisément que possible. Un dispositif encapsulé dans un moule dental recueille les mesures des forces. Un écran représente la force cible et le tracé de la force en cours de réalisation par le parkinsonien qui peut contrôler. Les parkinsoniens sont enregistrer dans la matinée après une période de dix heures sans médicament et selon deux conditions : avec SST (On SST) et une heure après l'arrêt de la SST (Off SST). Après chaque enregistrement, le handicap moteur des parkinsoniens est estimé par les items 18 à 31 de la section III de l'UPDRS. L'item 18 est noté selon une échelle allant de 0 à 4 (parole sans dysfonctionnement jusqu'à fortement altérée) Les forces maximales volontaires des lèvres et de la langue sont mesurées. Les résultats montrent que le score à l'UPDRS diminue considérablement chez les patients stimulés qui d'autre part améliorent leurs performances motrices de 42 à 87 %. Les handicaps de parole estimés par l'UPDRS (item 18) sont significativement améliorés. Chez les parkinsoniens en situation Off SST : 8 sont jugés modérément altérés au niveau de la parole et 2 sont difficiles à comprendre avec des altérations marquées. Chez les mêmes parkinsoniens en état On SST la parole d'un parkinsonien est jugée normale, 7cparkinsoniens présentent un manque de diction et de volume et 2 parkinsoniens ont une parole bredouillée, indistincte mais compréhensible. Le score moyen Off SST est 2 et On SST est 1. Les forces volontaires maximales sont significativement plus importantes pour les sujets témoins que pour les parkinsoniens Off SST, par contre la différence des forces volontaires maximales n'est pas significative entre les sujets témoins et les

parkinsoniens On SST. Les parkinsoniens Off SST présentent de façon significative une plus petite force maximale que les parkinsoniens On SST. L'augmentation de la force maximale est de 51 % pour la lèvre supérieure, de 117 % pour la lèvre inférieure et de 88% pour la langue. La phase de tenue de la force est stable chez les sujets témoins, par contre les parkinsoniens Off SST ont des difficultés à maintenir une contraction donnée des organes articulatoires. La phase de tenue de la force est plus grande chez les parkinsoniens ON SST que chez les Off SST. Selon les auteurs, la difficulté de maintenir la force constante peut être due à un dysfonctionnement de l'intégration des données proprioceptives, cette hypothèse a été développée par Schneider et al. 1986 cités par Gentil et al. 1999. La SST influence les deux systèmes : le système oral et celui des membres. L'amélioration des forces des organes articulatoires sous l'influence de la SST se répercute positivement sur la parole. Cependant, lorsque la stimulation est excessivement haute et/ou lorsque les électrodes sont mal positionnées, la parole peut être dégradée par la SST. Il est donc utile de vérifier si certains problèmes de parole sont en relation avec la SST. Une meilleure compréhension de l'impact de la procédure chirurgicale sur la parole est très importante étant donné que la dysarthrie peut être une entrave considérable à la vie sociale des parkinsoniens. L'étude de Gentil et al. 2003 évalue quantitativement l'effet de la stimulation bilatérale du noyau subthalamique sur les composantes de la production de la parole que sont l'articulation, la respiration et la phonation. Les auteurs procèdent à des enregistrements acoustiques et observent les mesures des forces générées par les organes articulatoires de 16 parkinsoniens SST. Les résultats montrent que sous l'effet de la SST le temps de réaction ainsi que la durée des mouvements articulatoires diminuent et que la force maximale ainsi que la précision des mouvements articulatoires augmentent. L'étude de Pinto et al. 2003 menée auprès de 26 parkinsoniens SST observe les mesures des forces générées par les lèvres et la langue durant la production de parole. Les résultats montrent que la force maximale volontaire, le temps de réaction, la durée du mouvement, la précision du pic de la force ainsi que la phase de tenue de la force sont améliorés. Les auteurs pensent que ces observations permettent de dire que la dysarthrie parkinsonienne est associée en partie à une altération de l'activité neuronale du noyau sous-thalamique.

#### **VII.2.1.d. Les effets sur la voix**

Gentil et al. 2001 affirment que la SST influence favorablement la parole mais également, plus spécifiquement, la voix des parkinsoniens. Les conclusions de Gentil et al. 2001 considèrent les

informations concernant les effets de la stimulation sur les conditions respiratoires et sur le système laryngé des parkinsoniens. L'observation de la Fo permet de rendre compte de l'effet de la SST au niveau de la voix. Les améliorations physiologiques apportées par la SST peuvent rendre possible une meilleure adduction des cordes vocales et une augmentation des volumes inspiratoires et expiratoires. La variabilité de la Fo est un indice de l'activité des muscles laryngés et surtout des muscles cricothyroïdiens qui sont responsables du contrôle du contour intonatif et de l'adduction des cordes vocales (Aronson 1990 cité par Gentil et al. 2001). Selon Gentil et al. 1999, la SST a des effets positifs sur les difficultés motrices que rencontrent les parkinsoniens et les améliorations du contrôle oral observées chez les parkinsoniens stimulés suggèrent que la SST module les structures neuronales impliquées dans la production de la parole. Gentil et al. 2003 notent un effet positif de la SST sur la voix de 16 parkinsoniens avec une amélioration significative des fonctions respiratoires et phonatoires.

◆ **La Fo pendant la production de phrase : contour intonatif**

La Fo relevée pendant la production d'une phrase indique le contour intonatif; les variations de fréquences sont associées à l'intonation. Gentil et al. 2001, estiment les différences acoustiques de la voix de 26 parkinsoniens selon deux conditions, avec et sans stimulation du noyau sous-thalamique et montrent que les patients présentent une plus grande variation de la Fo pendant la production de phrases. En effet, les répétitions de la phrase "C'est bas, qu'en pensez-vous ?" permettent d'observer une plus grande variation de la Fo pour les parkinsoniens On que pour les parkinsoniens Off. Le manque de variation de la Fo à l'intérieur d'une phrase indique une réduction de l'efficacité des muscles laryngés et confirme une rigidité musculaire souvent constatée chez les parkinsoniens (Weismer 1984 cité par Gentil et al. 2001) et, plus précisément, au niveau des muscles cricothyroïdiens responsables du contrôle du contour intonatif (Aronson 1990 cité par Gentil et al. 2001). Le fait que la variation de la Fo soit réduite dans les phrases produites par les parkinsoniens Off indique une plus grande rigidité laryngée sans l'effet de la SST. Selon les auteurs, les parkinsoniens On produisent une intonation plus riche et leur parole donne une impression de normalité et de naturel.

◆ **La Fo pendant la tenue d'une voyelle : stabilité laryngée**

La Fo relevée pendant la tenue d'une voyelle est un indicateur de la stabilité phonatoire. Canter 1963 cité par Gentil et al. 2001 déclare que les parkinsoniens hommes présentent une Fo

moyenne plus élevée que les sujets témoins, en effet, les valeurs données sont de 129 Hz pour les parkinsoniens et de 106 Hz pour les témoins. Metter & Hanson 1986 cités par Gentil et al. 2001 indiquent que la Fo moyenne augmente chez les parkinsoniens en même temps que les handicaps cliniques évalués par l'échelle de Webster. Les données de Gentil et al. 2001 révèlent une plus grande stabilité de la Fo pendant la production de voyelles tenues lorsque les parkinsoniens sont sous l'effet thérapeutique. En effet l'écart type de la Fo moyenne est réduit en On; la Fo est donc plus stable. D'autre part, les auteurs relèvent pour la production du /a/ tenu et pour les hommes une baisse significative de la Fo moyenne chez les parkinsoniens en état On (Fo moyenne en Off: 129 Hz et en On: 105 Hz). Alors que, comme nous l'avons déjà mentionné précédemment, l'équipe de F. Viallet relève une augmentation de la Fo moyenne pour les répétitions du /a/ tenu chez les parkinsoniens (hommes et femmes) sous traitement à la L-dopa en On (Fo moyenne en Off: 118 Hz et en On: 122,4 Hz).

#### **VII.2.1.e. Les effets sur les données temporelles**

Les mesures de données temporelles montrent qu'elles sont très variables d'un sujet à l'autre. Selon Metter et al. 1986 cités par Gentil et al. 2001 la composante la plus variable de la dysarthrie hypokinétique est le débit de parole. Cependant la comparaison des données relevant d'un même sujet enregistré dans deux conditions différentes (On et Off SST) permet de déterminer la présence d'une tendance générale commune à tous les sujets.

##### **◆ Le temps de phonation**

Selon les données de Gentil et al. 2001, les parkinsoniens présentent une plus courte durée de phonation des voyelles tenues /a/ et /i/ lorsqu'ils sont en état Off.

##### **◆ La durée de la phrase, la durée du mot**

Certaines études ont observé l'habileté des parkinsoniens à répéter rapidement des syllabes. Canter 1965 cité par Gentil et al. 2001 montre chez les parkinsoniens une difficulté à produire rapidement des mouvements articulatoires. Selon les données de Gentil et al. 2001, la durée des 5 répétitions rapides du non-mot [pataka] est plus longue chez les parkinsoniens lorsqu'ils sont en état Off. La différence Off/On est significative pour les hommes; la variabilité intersujet s'avère importante pour les femmes. Par contre, la répétition de la phrase "c'est bas. Qu'en pensez-vous?" selon un débit normal ne montre pas de différence significative, la durée moyenne de la phrase

est à peine plus longue lorsque les parkinsoniens sont en état Off. La tâche de répétition de trois mots de quantité syllabique différente "pas, passe, passe-temps" permet d'observer chez les parkinsoniens un ajustement normal de la durée moyenne du mot en fonction du nombre de syllabes contenues par le mot quel que soit leur état lors de l'enregistrement. Les phénomènes de dégradation de l'exécution des tâches motrices sont connus en contexte de maladie de Parkinson (Benecke et al. 1987, Harrington & Haaland 1991 cités par Gentil et al. 2001). Le contrôle approprié de la durée syllabique en fonction de la longueur du mot est une activité motrice complexe qui nécessite une programmation générale de l'action selon des propriétés extrinsèques du mot cible. Une même appréhension a été observée lors des activités motrices des membres en contexte de maladie de Parkinson (Gentilucci & Negrotti 1999 cités par Gentil et al. 2001).

◆ **Le temps de pause**

Selon Gentil et al. 2001, les parkinsoniens réduisent leur temps de pause lorsqu'ils sont en état On. Cette différence serait plus importante pour les hommes que pour les femmes. En effet, pour les hommes le temps de pause représente 19% du temps de parole lorsqu'ils sont en condition On et 26% lorsqu'ils sont en condition Off. Pour les femmes le temps de pause représente 9% du temps de parole lorsqu'elles sont en condition On et 11,4% lorsqu'elles sont en condition Off. Les mesures temporelles de cette étude montre également que lorsque les parkinsoniens sont en état On la durée moyenne d'une pause est également plus brève. La parole serait « plus fluente et naturelle ».

**VII.2.1.f. Complications liées à la technique elle-même**

Quelques études observant les effets de la SST sur la parole prennent en considération les possibles complications post-chirurgicales. La technique chirurgicale nécessaire à la SST consiste à implanter une électrode à l'intérieur du cerveau et peut occasionner des microlésions auxquelles la parole est susceptible d'être sensible surtout si ces lésions se situent dans l'hémisphère gauche, dans le cortex moteur. Wang et al. 2003 expliquent que les 3 parkinsoniens recevant une stimulation dans l'aire gauche du cerveau montrent une baisse de l'intensité de parole et de la durée des voyelles tenues alors que les 6 parkinsoniens recevant une stimulation dans l'aire droite du cerveau présentent une amélioration générale de la dysarthrie.

### **VII.2.1.g. Effets d'une stimulation unilatérale du NST gauche ou droite**

L'étude de l'équipe belge de Santens et al. 2003 observe les effets de la localisation dans l'hémisphère gauche ou droite de la stimulation du NST au niveau de la parole. 7 parkinsoniens bénéficiant de la stimulation bilatérale du STN ont participé à cette étude. Une tâche de lecture ainsi qu'une tâche de tenue de la voyelle /a/ leur sont proposées. Les patients sont enregistrés selon 4 conditions de stimulation du NST ; 1) gauche ON, droite OFF, 2) gauche Off, droite On, 3) gauche et droite Off, 4) gauche et droite On. 22 auditeurs ont évalué de façon perceptive pour chaque enregistrement la prosodie, l'articulation, l'intelligibilité, qualité de voix, l'intensité et le débit de parole. Les résultats ne montrent pas de différence significative entre les enregistrements réalisés avec (On) et sans (Off) la stimulation bilatérale du NST. Les différences sont significatives pour les deux stimulations unilatérales. En effet, la stimulation du NST dans l'hémisphère gauche a des effets négatifs sur la prosodie, l'articulation et l'intelligibilité générale du parkinsonien alors que la stimulation du NST dans l'hémisphère droit ne révèle pas ces effets. Les résultats à la tâche de tenue de la voyelle ne diffèrent pas significativement. Bien que le rôle de l'hémisphère gauche soit dominant dans l'activité de parole, les auteurs pensent que certains aspects de la parole sont hautement dépendants de l'équilibre bilatéral à l'intérieur du système des ganglions de la base. La stimulation bilatérale semble plus appropriée concernant les effets au niveau de la parole. D'autre part, les mouvements des membres ne sont pas altérés par la stimulation du NST dans l'hémisphère gauche. Cette observation permet, une fois de plus, de constater que des fonctionnements différents sont sollicités pour l'activité de parole et pour le contrôle des mouvements des membres.

## **VII.2.2. Autres techniques lésionnelles**

### **VII.2.2.a. La thalamotomie**

La thalamotomie traite le tremblement mais elle a des conséquences sur d'autres symptômes parkinsoniens (Koller et al. 1999 cités par Pinto et al. 2004). Elle est généralement effectuée au niveau du noyau ventrolatéral et du noyau ventral intermédiaire du thalamus. La thalamotomie unilatérale dégrade la parole (Bell 1968, Petrovici 1980 cités par Pinto et al. 2004). Il est reconnu que les troubles de la parole s'aggravent ou sont inchangés chez les parkinsoniens qui ont subi une thalamotomie (Geschwind 1967, Samra et al. 1969, Laitinen 1972, Van Buren et al. 1973

Quagliari & Celesia 1977 cités par Gentil et al. 1995). En effet, cette chirurgie peut entraîner des complications telles que l'installation ou l'aggravation d'une dysarthrie ou d'une dysphonie (Bell 1968, Hassler et al. 1979 cités par Gentil et Al. 1995).

Le risque de troubles de la parole augmente chez les patients ayant subi une thalamotomie bilatérale (Bell 1968, Jenkins 1968, Krayenbühl et al. 1963, Nagaseki et al. 1986, Selby 1967, Samra et al. 1969, Stracciari et al. 1993 cités par Gentil et al. 1995). Cette intervention chirurgicale a été principalement utilisée pour traiter le tremblement du parkinsonien (Jenkins 1968, Stracciari et al. 1993 cités par Gentil et al. 1999). La thalamotomie bilatérale est associée à la lenteur de parole et à l'hypophonie. Les parkinsoniens ayant subi une thalamotomie unilatérale ou bilatérale sont plus dysarthriques après la chirurgie qu'avant (Quagliari & Celesia 1977 cités par Pinto et al. 2004) et certains développent une palilalie (Stracciari et al. 1993 cités par Pinto et al. 2004). A cause de ses effets négatifs sur la parole cette pratique a été abandonnée et n'est plus proposée aux patients en traitement de la maladie de Parkinson.

#### **VII.2.2.b. La pallidotomie**

La pallidotomie est utilisée contre la dyskinésie en contexte de maladie de Parkinson. Elle est effectuée dans la partie postéroventrale de la partie interne du globus pallidus (Laitinen et al. 1992 cités par Pinto et al. 2004). Gentil et al. constatent l'absence de rapport sur ses effets sur la parole dans leur article de 1995. Selon Pinto et al. 2004 plusieurs études observent des effets néfastes sur la dysarthrie d'une lésion unilatérale ou bilatérale au niveau du globus pallidus. Cependant Barlow et al. 1998 cités par Pinto et al. 2004 rapportent une augmentation et une meilleure stabilité de la force labiale durant les mouvements articulatoires de la parole chez des parkinsoniens après une pallidotomie postéroventrale bilatérale. Schulz et al. 1999 mentionnent des mesures phonatoires et articulatoires améliorées après une pallidotomie postéroventrale unilatérale, en effet les 6 patients qui ont participé à l'étude ont été enregistré en production de parole avant et 3 mois après l'intervention chirurgicale et ils présentent tous au moins une composante de la parole bénéficiant d'une amélioration significative.

#### **VII.2.2.c. La subthalamotomie**

La lésion unilatérale du noyau subthalamique n'entraîne que de rares améliorations au niveau de la parole dysarthrique (Vilela et al. 2001 cités par Pinto et al. 2004). Les symptômes axiaux ne répondent pas bien à cette chirurgie (Su et al. 2003 cités par Pinto et al. 2004) et sa complication

majeure se traduit en un dysfonctionnement de la parole (Parkin et al. 2001 cités par Pinto et al. 2004).

### **VII.3. La prise en charge orthophonique et son effet sur la dysarthrie parkinsonienne**

La prise en charge orthophonique des parkinsoniens n'est pas systématique, elle ne concerne que 3 à 4 % des parkinsoniens. Elle est freinée par certains facteurs tels que la nature neurodégénérative de la maladie de Parkinson ainsi que la variabilité de l'état du patient en fonction de son traitement pharmacologique et de sa situation psychologique (dépression fréquente). Ce faible développement de la prise en charge de la dysarthrie s'explique notamment par l'idée ancienne de l'inefficacité de la rééducation et par un manque de formation des orthophonistes. Le fait de parler fort chez les dysarthriques augmente significativement l'intelligibilité des locuteurs. Par contre, un dysfonctionnement de la proprioception a été observée chez les parkinsoniens qui leur donne l'impression de parler constamment plus fort que ce qu'ils le font en réalité (Ramig et al. 2001). Il existe différentes méthodes de rééducation orthophonique en contexte de maladie de Parkinson qui font toutes appel au contrôle volontaire de la parole car le contrôle automatique est défaillant. La rééducation respiratoire se focalise sur des inspirations profondes et des expirations prolongées afin d'améliorer la coordination et la synergie des muscles respiratoires. La rééducation posturale travaille la prise de bonnes postures de la tête, de la nuque et du tronc. La relaxation diminue les tensions musculaires laryngées et supralaryngées. La rééducation phonatoire exerce l'intensité vocale. La rééducation articuloire entraîne l'articulation des sons souvent à l'aide d'un miroir et selon un débit imposé. La rééducation prosodique insiste sur l'intonation et l'accentuation en travaillant les différents modes. Scott & Caird 1983 cités par Schulz 2002 montrent l'effet bénéfique des exercices prosodiques renforcés visuellement. Il existe également des méthodes supplémentaires comme la facilitation neuromusculaire proprioceptive qui permet d'améliorer les mouvements de la face grâce à des stimulations physiques. Les exercices isométriques ou « pushing technique » consiste à associer des efforts musculaires et de la phonation. Les méthodes de feedback permettent au patient de se contrôler grâce à un retour auditif, visuel, électromyographique, ou assisté d'un prompteur ou d'un pacing board. La méthode DAF « delayed auditory feedback » consiste à amplifier sa voix. Elle améliore l'intelligibilité alors qu'elle ne la vise pas directement (Greene & Watson 1968 cités par Schulz 2002), elle améliore également le débit de parole (Downie et al. 1981 cités par Schulz 2002). L'exercice de parler fort est tellement bénéfique pour la production

de parole des dysarthriques que l'équipe de recherche américaine de Ramig s'en est inspirée et a proposé un programme de traitement spécialement pour la dysarthrie parkinsonienne qui consiste à entraîner le volume vocal (Ramig et al. 1995, Dromey, Ramig & Johnson 1995 cités par Kempler & Van Lancker 2002). Il s'agit de la méthode Lee Silverman, « the Lee Silverman Voice treatment » ou LSVT, du nom de la première patiente à laquelle elle a été proposée. La méthode a été mise au point à partir de la constatation suivante : le fait de parler fort entraîne une augmentation de l'effort respiratoire et de l'adduction des cordes vocales et cet exercice va améliorer l'élocution des dysarthriques. Elle propose un entraînement de l'intensité vocale sur 16 séances en un mois. Elle s'avère efficace à court et à long termes. Selon Dias & Limongi 2003 la méthode LSVT obtient de bons résultats. Cette équipe de recherche brésilienne a procédé à des analyses perceptives et acoustiques de la qualité de la voix, des mouvements articulatoires de la parole et de l'intelligibilité d'un groupe de parkinsoniens parlant le portugais du Brésil suivant la méthode orthophonique LSVT. Les auteurs évaluent l'efficacité thérapeutique au niveau de la monotonie de parole, de l'intensité réduite de la voix, de l'articulation imprécise et des perturbations de rythme communes à la dysarthrie en observant des enregistrements de parole effectués avant et après les séances orthophoniques. Les analyses rapportent une différence significative des données avec une amélioration au niveau de la qualité de la voix entraînant une meilleure intelligibilité chez les patients. Les mouvements articulatoires ne semblent pas concernés par l'effet thérapeutique. Deane et al. 2001 comparent deux types de thérapies orthophoniques proposées à 71 parkinsoniens. Il s'agit de la méthode de Scott 1983 cité par Deane et al. 2001 qui propose aux patients des exercices prosodiques avec et sans informations visuelles et de celle du LSVT plus ciblée sur l'activité respiratoire. Les auteurs évaluent la prosodie et l'intelligibilité des parkinsoniens avant et après la thérapie. La parole dysarthrique est améliorée dans les deux cas mais statistiquement aucune amélioration n'est notée spécifiquement pour l'une ou l'autre des méthodes et aucune comparaison ne peut finalement être établie. L'étude de Baumgartner et al. 2001 compare également deux méthodes de rééducation orthophonique, la méthode LSVT précédemment décrite et la méthode RET « Respiratory Effort Traitement » axé sur l'effort respiratoire uniquement. Deux auditeurs experts analysent les enregistrements effectués auprès de 45 parkinsoniens en tâche de lecture avant et après le programme LSVT ou RET et évaluent l'aspect « hoarseness » rauque et « breathiness » murmuré de la voix. Les résultats montrent une réduction significative de la voix rauque et murmurée chez

les parkinsoniens LSVT et sont donc en accord avec les études acoustiques et physiologiques de Ramig et al. 1994, Smith et al. 1995, Brosovic 1994, Dromey et al. 1995, Ramig et al. 1996 cités par Baumgartner 2001. Le programme RET n'est pas efficace parce qu'il n'exerce pas l'adduction des cordes vocales et des fonctions phonatoires alors que le programme LSVT augmente l'intensité de la voix en augmentant l'adduction et la compression des cordes vocales par le biais d'une augmentation de l'activité des muscles du larynx. D'autre part, Hickok et al. 2000 cités par Pinto et al. 2004 rapportent que la méthode LSVT remédie aux activations cérébrales anormales observées chez les dysarthriques durant les voyelles tenues et la parole lue. Deane et al. 2004 cités par Pinto et al. 2004 affirment qu'il faut attendre un minimum de 6 mois de traitement orthophonique avant de percevoir des améliorations au niveau de la parole dysarthrique. Ramig et al. 1996 cités par Pinto et al. 2004 rapportent que des améliorations de la parole sont visibles chez les dysarthriques dès 2 à 4 semaines de traitement orthophonique et surtout lorsque le traitement proposé est intensif. Sharkawi et al. 2002 cités par Pinto et al. 2004 mentionnent des améliorations grâce au traitement orthophonique au niveau de la déglutition et de l'expression du visage. Un autre traitement recommandé pour la dysarthrie hypokinétique est la réduction du débit de parole (Berry 1983, Ramig & Gould 1986, Yorkston et al. 1988 cités par Hammen & Yorkston 1996). Le fait de parler lentement augmente l'intelligibilité des patients mais il semblerait que cette amélioration de l'intelligibilité soit due au gain de temps dont bénéficient les auditeurs pour comprendre la parole dysarthrique et non à une amélioration de la parole du patient. L'étude de Scott & Caird 1984 observe les anormalités prosodiques de la parole parkinsonienne et leurs évolutions au cours d'un entraînement intensif prosodique et d'expression faciale proposé à 11 parkinsoniens sur deux semaines. Les dysfonctionnements de la parole et de l'expression du visage semblent réagir positivement à ce type de traitement. Dans l'article de Sapir et al. 2002, la méthode LSVT qui exerce les activités respiratoire et phonatoire est comparée à la méthode RET (« high-effort respiratory treatment program ») ciblée sur l'effort respiratoire uniquement. 6 auditeurs évaluent perceptivement les 22 parkinsoniens suivant la méthode LSVT et les 13 suivant la méthode RET avant le traitement et après 12 mois d'entraînement. Ils déclarent la parole des parkinsoniens LSVT plus forte (volume plus important) et de meilleure qualité après 12 mois de traitement qu'avant le traitement, mais cette observation ne concerne pas les parkinsoniens RET. La méthode LSVT est donc plus efficace que la méthode RET et, à long terme, les améliorations de la parole sont perceptibles. Les traitements

orthophoniques étaient axés sur la prosodie dans les années 80 avec parfois l'inclusion de la respiration et de l'articulation. Dans les années 90, la thérapie se focalise sur la voix (intensité vocale). Cependant, les auteurs sont d'accord pour dire que le manque de données significatives ne permet pas de conclure radicalement sur l'efficacité générale des différents traitements orthophoniques.

#### **VII.4. Autres traitements ...**

D'autres pratiques sont proposées de façon plus isolée en traitement de la maladie de Parkinson comme par exemple la transplantation de cellules dopaminergiques fœtales au niveau du striatum pour laquelle aucune amélioration systématique de la dysarthrie n'a été observée par les études acoustiques (Baker et al. 1997). En effet, les auteurs rapportent que la FCT (« fetal cell transplant » surgery) n'influence pas systématiquement la production de voix et de parole. Mais cette greffe reste pratiquée dans un cadre expérimental, avec des résultats symptomatiques inférieurs à ceux de la SST. L'injection de collagène est proposée afin de réduire l'espace compris entre les cordes vocales et l'hypophonie mais elle se traduit en une diminution de l'activité laryngée (Berke et al. 1999 cités par Pinto et al. 2004). Sandyk 1997 cité par Pinto et al. 2004 rapporte le cas d'un parkinsonien présentant une amélioration de la parole après une stimulation magnétique transcranienne hebdomadaire associée à un traitement sérotoninergique. Haneishi 2001 examine l'effet du « Music Therapy Voice Protocol (MVTP) » sur l'intelligibilité de la parole, l'intensité vocale, l'étendue maximale vocalique, la durée maximale des voyelles tenues, la Fo, la variabilité de la Fo et l'humeur des parkinsoniens. Les résultats ne sont pas tous significatifs mais une amélioration de l'intelligibilité et du volume de parole est attestée chez les parkinsoniens en musicothérapie pour lesquels il est constaté également un meilleur état psychologique.

***Pour résumer...***

Les effets de la plupart des traitements de la maladie de Parkinson demeurent insatisfaisants au niveau de la dysarthrie. La grande variabilité de la parole parkinsonienne rend difficiles et souvent non significatifs les traitements statistiques. Les effets des traitements pharmacologiques sont les plus variables et les plus imprévisibles. Il n'y a pas d'évidence d'une amélioration systématique de la dysarthrie par le traitement pharmacologique dopaminergique. Les traitements chirurgicaux peuvent occasionner des progrès au niveau des différentes composantes de la parole malgré une réduction de l'intelligibilité souvent constatée cliniquement. La rééducation orthophonique selon la méthode LSVT est la prise en charge de la dysarthrie qui engendre une amélioration de la parole plus perceptible et plus complète avec des progrès au niveau de l'intensité, de l'intonation, du débit, de l'expression du visage et de la déglutition. Elle est efficace sur le handicap communicationnel en améliorant l'intelligibilité générale du patient. Le dilemme réside dans le fait que le meilleur traitement pour les symptômes parkinsoniens classiques n'est pas celui qui convient le mieux à la prise en charge de la dysarthrie parce que les dysfonctionnements sous-jacents à ces deux manifestations de la maladie dépendent de processus différents.

## **CHAPITRE III**

### **La maladie de Parkinson Idiopathique: la MPI**

« On veut en savoir davantage sur le langage parce qu'on espère, par ces connaissances, trouver la clé de la nature humaine. »  
Steven Pinker (1999)

Ce chapitre propose une brève présentation de la maladie de Parkinson et tente d'en donner les grandes lignes afin de disposer de toutes les informations nécessaires à l'interprétation des résultats des investigations que nous avons menées auprès des parkinsoniens.

## **I. Historique de la maladie de Parkinson**

La maladie de Parkinson est appelée maladie de Parkinson idiopathique (MPI) par convention. En 1817, J. Parkinson, neurologue londonien, publie « An essay on the shaking palsy » qui décrit la « paralysie agitante » d'après l'observation clinique de 6 cas. Avant lui, les traces de la maladie de Parkinson dans les écrits sont rares mais la description du tremblement de repos apparaît dès l'an 1000 av. JC dans la médecine Hindou, au II<sup>o</sup> siècle après JC dans les écrits de Galien et en 1680 chez Sylvius de la Boë. La festination de la marche est décrite en 1758 par Gaubius et en 1768 par Boissier de Sauvages. Ces deux symptômes n'avaient pas été envisagés de façon corrélée avant J. Parkinson qui leur associe à juste titre un déficit musculaire. En 1868 et en 1872 Trousseau contribue à la description clinique de la maladie de Parkinson. En 1925, Wilson fait une description de l'akinésie qui est le symptôme le plus spécifique de la maladie de Parkinson. En 1967, Purdon Martin donne une définition clinique mentionnant les symptômes de tremblement, rigidité, akinésie et perte des réflexes posturaux. Aujourd'hui d'autres symptômes sont reconnus et décrits par les neurologues tels que Fahn 1989 et Ziegler et al. 1994.

## **II. Processus lésionnel responsable de la maladie**

En 1895, Brissaud fait l'hypothèse d'une lésion au niveau du locus niger de Soemmering ou substance noire (SN). En 1919 Tretiakoff décrit la dépigmentation, la perte neuronale et la gliose dans la substance noire contralatérale au coté cliniquement atteint. Souques en 1921 situe les lésions dans les noyaux gris centraux et plus particulièrement dans le globe pâle. En 1925 Foix et Nicolesco réaffirment la présence des lésions au niveau du locus niger et d'autres formations pigmentées du tronc cérébral (locus coeruleus, noyau dorsal du vague). Le développement récent de l'imagerie cérébrale permet de vérifier l'hypothèse du déficit dopaminergique associé à l'atteinte d'autres systèmes de neurotransmission. De façon schématique, la maladie de Parkinson est une atteinte du système nerveux central et/ou périphérique qui engendre une anomalie biochimique. Au niveau de la substance noire (à la base du cerveau) et du striatum, elle fait baisser le taux de concentration de dopamine (neurotransmetteur), par la raréfaction des neurones nigrostriataux. Les ganglions de la base (« basal nuclei » ou « basal ganglia ») sont composés du caudate, du putamen, des globus pallidus externe et interne ou pallidum, des noyaux sous-thalamiques, et de la substance noire. Les ganglions de la base sont reconnus pour leur rôle dans le contrôle moteur (Kent & Tjaden 1997). Les ganglions de la base sont situés entre le cortex associatif où serait conçue l'idée de

mouvement et le cortex moteur qui assure l'exécution du mouvement. Les ganglions de la base ont un rôle dans la planification et la programmation du mouvement (Viallet et al. 2001). Selon Marsden 1982 cité par Viallet et al. 2001 les ganglions de la base sont chargés de l'exécution automatique des plans moteurs appris. Cette fonction est atteinte de façon précoce et spécifique dans la maladie de Parkinson. Le déficit motivationnel engendre l'akinésie psychique et le déficit de réglage de la force musculaire engendre la bradykinésie (ralentissement du mouvement) et l'hypokinésie (réduction de l'amplitude du mouvement).

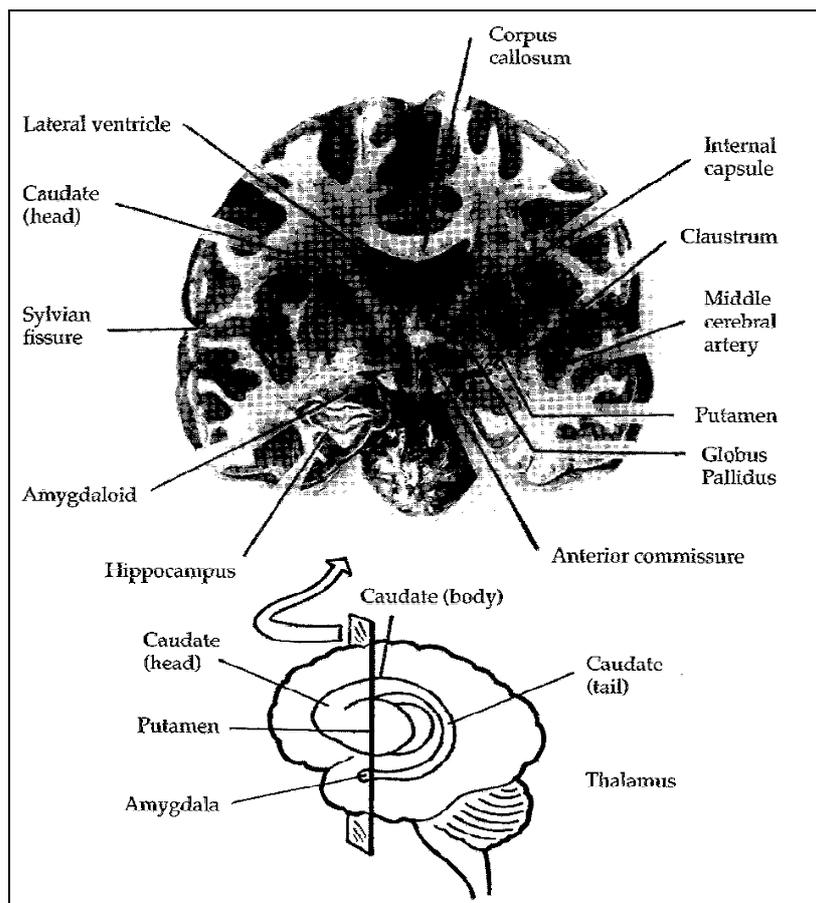


Figure 9: Les ganglions de la base, vue latérale et section sagittale du cerveau, Kent et Tjaden, 1997, p. 227

### III. Autres syndromes parkinsoniens

La maladie de Parkinson idiopathique (MPI) ou primitive est différente des syndromes parkinsoniens secondaires (infectieux, toxiques, traumatique, vasculaires, tumoraux) et des syndromes parkinsoniens dégénératifs (atrophies plurisystématisées, paralysie supranucléaire progressive, syndromes Parkinson-démence). La distinction entre la MPI et certains autres syndromes parkinsoniens est difficile à faire surtout en début d'évolution de la maladie. C'est le cas avec les atrophies multisystématisées (AMS) qui sont les syndromes parkinsoniens les plus fréquents après la MPI, avec en moyenne une durée de survie de 9,3 ans. Il en est de même avec la paralysie supranucléaire progressive (PSP) qui représente environ 5 % des

syndromes parkinsoniens. Le diagnostic initial de PSP est difficile à faire et est établie en moyenne après 3 ans de maladie et la durée moyenne de survie est de 6 ans. Il faut faire également la distinction entre la MPI et la dégénérescence corticobasale (DCB) qui représente 1 % des syndromes parkinsoniens ainsi qu'avec la démence à corps de Lewy diffus.

#### **IV. Les symptômes de la maladie de Parkinson**

##### **IV.1. Processus symptomatique**

La MPI est une maladie évolutive. L'émergence des signes se fait de façon progressive. Les symptômes peuvent être classés en trois types ; ceux du début de la maladie qui se manifestent sur une durée d'environ 6 ans, ceux de la maladie installée qui se manifestent sur une durée d'environ 3 ans et ceux de la maladie avancée qui se caractérisent par la perte d'autonomie. L'évolution progressive du handicap moteur a été décrite par Hoehn et Yahr en 1967 selon cinq stades d'invalidité croissante. L'âge moyen de début de la phase symptomatique est de 55 ans, le stade V est atteint après une période d'environ 9 ans d'évolution des symptômes. La phase présymptomatique est estimée à environ 7 ans d'après de récentes études d'imagerie en tomographie par émission de positrons ou TEP (Morrish et al. 1998 cités par Viallet et al. 2001) mais présente une grande variabilité interindividuelle. Le début de la dégénérescence des neurones dopaminergiques ne peut pas être daté avec précision mais s'étend sur des dizaines d'années (Ruberg et al. 1997 cités par Viallet et al. 2001). 70 à 80 % des neurones meurent dans la substance noire compacte (SNpc), 40 à 50 % des neurones meurent dans les régions de l'aire tegmentoventrale et de l'aire rétro- et périrubrale. Le processus débute dans la partie caudale et ventrolatérale de la SNpc et se dirige vers les régions rostrales, médiale et dorsale du mésencéphale (Hirsch et al. 1988 cités par Viallet et al. 2001).

##### **IV.2. Les signes moteurs**

Le triptyque des troubles moteurs en contexte de maladie de Parkinson est le tremblement, la rigidité et l'akinésie. Le tremblement est le motif de consultation initial le plus fréquent. Il s'agit d'un tremblement de « demi-repos » qui n'apparaît que dans certaines postures de relâchement musculaire partiel ou pendant la marche. La contraction musculaire volontaire ainsi que le relâchement musculaire complet le font en général disparaître et le stress l'aggrave. Le tremblement est le plus souvent unilatéral et localisé aux extrémités. La rigidité ou hypertonie des membres prédomine sur les groupes fléchisseurs. Elle est accrue par le stress et peut disparaître pendant le sommeil. L'akinésie consiste en une difficulté d'initiation

des mouvements, une réduction de l'amplitude et de la vitesse des mouvements et une perte des mouvements automatiques. Par conséquent, le parkinsonien souffre de troubles de la posture et de la coordination posture-mouvement que des activités comme l'écriture, la marche et la parole mettent en exergue. L'attitude générale du parkinsonien est penchée vers l'avant. Les déformations articulaires qui apparaissent peu à peu au niveau de la main rendent difficile l'écriture. La marche festinante se caractérise par l'absence du déclenchement du premier pas, par un piétinement ainsi que par une réduction de la longueur du pas. La parole est perturbée par la dysarthrie hypokinétique. La gestuelle du visage et des membres supérieurs associés à la communication est souvent rapidement atteinte. L'apparition du phénomène de « freezing » ou « enrayage cinétique » peut aggraver d'avantage l'écriture, la marche et la parole.

#### **IV.3. Les signes non moteurs**

Des phénomènes sensitifs et douloureux souvent liés à l'hypertonie tels que paresthésie, sensations de serrement, ou tremblement intérieur font partie des symptômes liés à la MPI. Le syndrome des « jambes sans repos » survient souvent la nuit. Des troubles psychiques sont observés tels que l'anxiété et la dépression ou plus tardivement de démence. Des troubles digestifs et cardiovasculaires se mettent en place. D'autres phénomènes non moteurs se manifestent de façon plus ou moins précoce, fréquente et en relation avec le traitement tels que nausées, troubles urinaires, anomalies du comportement sexuel, troubles du sommeil, hallucinations, troubles olfactifs et auditifs...

#### **V. La population concernée**

Les données épidémiologiques rapportent que la maladie de Parkinson atteindrait environ 1.5 % de la population âgée de plus de 65 ans en France (conférence de consensus sur la maladie de Parkinson, 2000). La maladie de Parkinson est répandue, elle touche près de 6.3 millions de personnes dans le monde, dont 1% des plus de 60 ans et 2% des plus de 80 ans. Elle apparaît chez des personnes âgées de 60 ans en moyenne mais une personne atteinte sur 20 peut développer des symptômes avant 40 ans. Les pourcentages diffèrent légèrement selon les sources. De Rijk et al. 1997 cités par Viallet et al. 2001 annoncent que la prévalence de la maladie de Parkinson augmente avec l'âge après 50 ans, représentant 1,5 % de la population de plus de 60 ans.

## **VI. L'étiologie de la maladie de Parkinson**

La maladie de Parkinson est une affection dégénérative d'étiologie inconnue touchant initialement les neurones dopaminergiques du locus niger. Pas de facteur unique de cause n'été décelé. Plusieurs facteurs semblent encourager la maladie, on parle d'étiologie multifactorielle. La maladie de Parkinson idiopathique diffère du parkinsonisme, qui lui se réfère à de nombreux symptômes similaires à ceux de la maladie de Parkinson mais avec une étiologie connue telle que difficultés vasculaires, maladie de Wilson, exposition à des neurotoxines dopaminergiques (MPTP) ou encéphalite. L'étude Europarkinson (De Rijk et al. 1997 cités par Viallet et al. 2001) s'efforce de recenser les facteurs à risques de la maladie de Parkinson. Les agents toxiques peuvent faire partie des facteurs d'apparition de la maladie de Parkinson mais l'hypothèse virale et/ou immunitaire est écartée. L'intoxication au MPTP, produit vendu illicitement en substitut de l'héroïne, a déclenché des cas de maladie de parkinson dans les années 70 et 80. Des enquêtes concernant des pesticides donnent des résultats contradictoires mais rapportent la prévalence augmentée de la maladie de Parkinson dans des régions hautement industrialisées (industrie chimique) ou d'agriculture intensive (pesticides, herbicides). L'occurrence familiale dans la maladie de Parkinson est généralement estimée à 10 %. L'importance des facteurs génétiques semblent en corrélation avec la précocité de la maladie de Parkinson (Tanner et al. 1999 cités par Viallet et al. 2001). L'hypothèse génétique a été validée par des études concernant de grandes familles multigénérationnelles (Golbe et al. 1996, Polymeropoulos et al. 1997, Leroy et al.1998, Gasser et al. 1998 cités par Viallet et al. 2001). Des anomalies génétiques ont été retrouvées de façon plus fréquente dans de plus petites familles et ont permis de mettre en évidence les anomalies du gène de la parkine (Kitada et al. 1998, Lucking et al. 2000 cités par Viallet et al. 2001). Mais l'interaction génétique-environnement semble déterminante (Barbeau et al. 1986 cités par Viallet et al. 2001). Des études ont montré la corrélation inverse entre la consommation de tabac (Jimenez-Jimenez et al. 1992 cités par Viallet et al. 2001) et de café (Ross et al. 2000 cités par Viallet et al. 2001) et l'apparition de la maladie de Parkinson. En 2004, des chercheurs du centre médical de l'Université Columbia et du Collège de Médecine Albert Einstein de New York ont identifié une cause possible de la forme héréditaire de la maladie de Parkinson. Le gène Alpha-synuclein et l'un des quatre gènes mutants de la forme héréditaire de la maladie. D'après les recherches réalisées sur des souris, la protéine produite par la forme mutante de ce gène bloque le recyclage des protéines des neurones dopaminergiques et provoque leur mort. Il est possible qu'un mécanisme similaire soit responsable de la destruction des cellules dans la forme non-héréditaire de la MPI. Cette

découverte permettra peut-être de développer de nouveaux traitements afin de stopper ou de ralentir la progression de la maladie.

## **VII. Les critères diagnostiques de la maladie de Parkinson**

La distinction entre la MPI et les autres syndromes parkinsoniens peut être difficile à repérer surtout en début de maladie. Les trois signes cliniques de la maladie de Parkinson sont le tremblement de repos, la bradykinésie et la rigidité. Certains signes cliniques confortent le diagnostic : l'asymétrie des symptômes, l'absence de signe atypique, l'absence d'une autre étiologie et une réponse marquée à la L-Dopa. Des troubles psychiques, dépression, déclin cognitif et parfois démence peuvent également apparaître chez le parkinsonien. La MPI se caractérise généralement par les symptômes suivants : raideur des muscles et des articulations, bradykinésie (lenteur des mouvements) ou akinésie (absence de mouvement), tremblement d'un membre, de la tête ou du corps tout entier, problèmes d'équilibre et de mauvaise coordination. Les symptômes cliniques de la MPI sont largement de nature motrice. Il est très rare de voir s'exprimer des symptômes avant la tranche d'âge de 50 à 69 ans (Hoehn and Yahr 1967 cités par Harel et al. 2004), de ce fait le diagnostic de la maladie est souvent tardif. La maladie de Parkinson étant une maladie évolutive, le diagnostic de la MPI doit être remis en cause à tout moment. En effet, on peut constater trois grandes étapes au cours de l'évolution de la MPI. La première étape a lieu au début de la phase symptomatique et privilégie les critères à valeur prédictive positive tels que tremblement de repos et asymétrie initiale des symptômes. A ce stade le critère de réponse clinique marquée à la L-dopa n'a pas de valeur diagnostique significative. La seconde étape intervient dans un délai de 3 à 5 ans après avec la réponse pharmacologique qui devient un critère utilisable si l'amélioration des symptômes est supérieure à 50% (score moteur à l'UPDRS, voir plus loin). La troisième étape débute après une dizaine d'années de traitement, la réponse pharmacologique est positive et s'accompagne fréquemment de dyskinésie et de fluctuations motrices. La subjectivité du clinicien peut être atténuée grâce à l'utilisation de procédures standardisées. Selon Agid 2000 cité par Viallet et al. 2001, l'examen neurologique d'un patient parkinsonien peut se décomposer en 4 temps et 20 items. Le premier temps comporte 4 items qui renseignent l'âge, le début de la maladie, la nature et la localisation du symptôme initial, ainsi que les antécédents familiaux éventuels de maladie de Parkinson. Le second temps caractérise le tremblement, la rigidité et l'akinésie en observant notamment la marche et l'écriture. Le troisième temps évalue la réponse au traitement dopaminergique et les effets indésirables. Le

quatrième temps fait l'inventaire des signes axiaux présents. Le taux d'erreur de diagnostic est d'environ 25 %.

### **VIII. Les examens complémentaires**

Quel que soit le stade de la maladie, les examens complémentaires n'apportent actuellement pas de contribution significative au diagnostic positif de MPI. Cependant, certains d'entre eux peuvent être nécessaires s'il existe un doute suggérant un autre diagnostic en début de maladie devant des signes atypiques ou en cours d'évolution de la maladie si des phénomènes inattendus apparaissent. Les techniques d'imagerie (scanner X, imagerie par résonance magnétique ou IRM, tomographie par émission de positrons ou TEP, tomographie d'émission monophotonique ou TEMC), d'électrophysiologie (électroencéphalogramme ou EEG, électromyographie, électrocardiogramme ou ECG, électroculographie) et les tests neuropsychologiques (échelle de Mattis, test de Grober et Buschke, test de Wisconsin, test de Stroop, test de fluence verbale, test de trail making...) sont très utiles au diagnostic différentiel.

### **IX. Les échelles d'évaluation utiles pour le suivi de la maladie**

L'évaluation dans le cadre de la MPI est essentiellement le fait d'échelles cliniques (Conférence de consensus sur la maladie de Parkinson, 2000). Les échelles retenues ont toutes été validées sur le plan méthodologique. Les échelles d'évaluation sont nécessaires pour le suivi clinique objectif de la MPI qui est une maladie chronique et évolutive. Certaines échelles sont spécifiques à la MPI et d'autres pas. Les échelles se répartissent en :

- Echelle multidimensionnelle de l'UPDRS ou Unified Parkinson's disease rating scale (Fahn, Elton & members of the UPDRS Development committee 1987). Elle est le résultat d'un atelier de travail en 1984 regroupant les principaux spécialistes mondiaux de la MPI et représente le standard international d'évaluation clinique pour l'ensemble des symptômes de la MPI et des problèmes liés à son traitement. L'UPDRS comporte 6 parties. La partie I évalue l'état mental, comportemental et thymique selon 4 items. La partie II évalue le handicap dans l'activité de la vie quotidienne selon 13 items. La partie III évalue les symptômes moteurs présents au moment de l'examen selon 27 items dont les troubles de la parole. La partie IV évalue les complications liées au traitement : dyskinésie, fluctuation, dysautonomie, etc... La partie V décrit le stade évolutif de la MPI selon l'échelle de 0 à 5 (0 = normal, 5 = grabataire) de Hoehn & Yahr 1967. La partie VI permet d'obtenir le score global d'autonomie dans la vie quotidienne selon l'échelle de Schwab & England établie en 1969 qui

cote le handicap de 0 % (perturbations maximales) à 100 % (normal). L'UPDRS est d'utilisation relativement aisée surtout après entraînement. Elle est utilisable à tous les stades de la maladie et permet d'évaluer le patient en état Off et en état On. La fiabilité de l'UPDRS a été confirmée (Conférence de consensus sur la maladie de Parkinson, 2000) mais les parties I, II et IV sont critiquées. Des échelles complémentaires sont donc proposées. Les enregistrements vidéo peuvent être effectués pendant la partie III de l'UPDRS. Plus le score à l'UPDRS est élevé plus la sévérité des symptômes de la MPI est importante. l'UPDRS permet d'étudier la réponse à la L-dopa. D'autres échelles peuvent être utiles.

- Echelles d'évaluation globale comme l'échelle de Hoehn & Yahr, permettant de classer la maladie en différents stades.

- Echelles d'évaluation analytique qui permettent de quantifier le handicap telles que l'échelle de Webster, l'échelle de Columbia ou l'échelle du King's College Hospital.

- Echelles fonctionnelles qui permettent de mesurer les conséquences de la MPI sur les activités quotidiennes comme l'échelle de Schwab & England, le Parkinson Disease Questionnaire PDQ-8 (version abrégée du PDQ-39), spécifique de la MPI et sensible aux changements, qui complète la partie II de l'UPDRS, la Parkinson Disease Quality of Life ou PDQL-37 qui teste selon 37 items les 4 dimensions des symptômes parkinsoniens, symptômes systémiques, aspects sociaux et états émotionnels, l'Intermediate Scale for Assessment in Parkinson's Disease ou ISAPD qui comprend 13 items, Le Parkinson Impact Scale ou PIMS qui teste 10 aspects de la vie sociale et la Short Form Health Survey ou SF-36 qui mesure l'impacte de la maladie dans la vie quotidienne mais n'est pas spécifique de la MPI.

- Echelles d'évaluation des fonctions cognitives, l'état psychique, les fluctuations motrices, les dyskinésies, l'akinésie et le tremblement : pour l'observation des troubles cognitifs et de la démence sont utilisés le test de Mattis plus spécifique des syndromes sous cortico-frontaux mais de réalisation difficile, la Batterie Rapide d'Efficienc Frontale (BREF) ainsi que le Minimental State (MMS) de Folstein non spécifique de la MPI mais utile dans les syndromes confusionnels. L'échelle de Hamilton qui selon 17 items, propose un score de 0 à 52 des symptômes psychologiques et végétatifs de la dépression et celle de Montgomery & Asberg (Montgomery and Asberg Depression Rating Scale ou MADRS) qui comprend 10 items cotés de 0 = normal à 6 = perturbations maximales sont adaptées à l'évaluation des troubles de l'humeur. La qualité de vie est évaluée par le l'autoévaluation des fluctuations des périodes Off et On, le Core assesment program for surgical interventional therapies in Parkinson's disease (CAPSIT-PD, 1999) observant les dyskinésie permettent de compléter la partie IV de l'UPDRS. L'évaluation de l'akinésie est obtenue grâce à l'utilisation de tests

chronométrés comme le Tapping test, les pronosupinations, l'opposition des doigts et le temps de marche. L'évaluation du tremblement suffisamment exploré par l'UPDRS peut l'être aussi par l'Essential Tremor Rating Scale ou ETRS. Plusieurs échelles sont également proposées pour évaluer la dysarthrie et la dysphagie surtout aux stades avancés de la maladie et en vue de rééducation spécifique comme l'échelle GRBAS qui observe la qualité de la voix, l'échelle de Clarke ou l'échelle de Kennedy essentiellement utilisées par les orthophonistes.

Stade 0	Pas de signes parkinsoniens
Stade I	Signes unilatéraux n'entraînant pas de handicap dans la vie quotidienne
Stade II	Signes à prédominance unilatérale entraînant un certain handicap
Stade III	Atteinte bilatérale avec une certaine instabilité posturale, malade autonome
Stade IV	Handicap sévère mais possibilité de marche, perte partielle de l'autonomie
Stade V	Malade en chaise roulante ou alité, n'est plus autonome

Figure 10 : Stades de Hoehn & Yarh, 1967

## X. Les traitements proposés aux patients

Il n'existe aucun traitement curatif à l'heure actuelle. Les traitements proposés ont pour objectif de freiner les symptômes parkinsoniens et d'améliorer les conditions de vie du patient. Les traitements améliorent les fonctions motrices mais ne modifient pas la progression du processus neurodégénératif de la MPI (Thobois et al. 2005). La MPI est une maladie que l'on peut soulager et non guérir. Deux grands types de traitement se distinguent, plusieurs solutions thérapeutiques sont proposées aux patients. La dopathérapie présente cependant des inconvénients à long terme induisant fluctuation et dyskinésie. Certaines interventions chirurgicales telles que la thalamotomie et la pallidotomie furent pratiquées avant même l'apparition de la L-dopa, en pratiquant des lésions unilatérales au niveau du thalamus ou du pallidum. Apparue plus tardivement, et contrairement à la technique lésionnelle, la neurostimulation à haute fréquence présente l'avantage d'être réversible. La stimulation sous-thalamique serait toutefois inefficace sur certains troubles moteurs tels que la dysarthrie, l'hypophonie et les troubles posturaux (Conférence de consensus, 2000).

### X.1. Les traitements Pharmacologiques

Les premiers usages des alcaloïdes naturels de la belladone sont apparus un demi-siècle après la description de la paralysie agitante de Parkinson et ont perduré jusqu'aux années 40. En 1949, les substances anticholinergiques de synthèse sont proposées suite à l'identification de l'acétylcholine comme neuromédiateur dans le SNC. L'apparition de la dopathérapie au début

des années 60 a fondamentalement et durablement modifié la thérapeutique de la maladie de Parkinson (Viallet et al. 2001). Le traitement médical de la MPI a pour principal objectif de corriger les symptômes, en particulier moteurs, permettant ainsi d'atténuer leurs conséquences sur la vie personnelle et sociale du patient et d'augmenter son espérance de vie. D'une façon très schématique la diminution de la synthèse et la libération de la dopamine dans le striatum s'accompagneraient d'une hyperactivité cholinergique réactive. Le traitement de la maladie de Parkinson cherche donc à corriger le déséquilibre biochimique par la L-Dopa, les agonistes dopaminergiques et d'autres médicaments modulant l'activité d'autres systèmes de neurotransmission (glutamatergiques, cholinergiques, gabaergiques, etc.).

### **X.1.1. La L-dopa**

La lévodopa est un acide aminé aromatique neutre normalement produit dans les neurones dopaminergiques. Elle est transformée en dopamine sous l'action de la dopadécarboxylase puis métabolisée sous les actions de la monoamine-oxydase (MAO) et de la catécho-O-méthyltransférase (COMT). L'administration simultanée de la L-dopa et d'inhibiteurs périphériques de la dopacarboxylase (benzérazide, carbidopa) a permis d'augmenter la biodisponibilité de la L-dopa et d'en diminuer les doses de 80 % (Viallet et al. 2001). Les inhibiteurs de la COMT (tolcapone, entacapone) sont efficaces. Une fois délivrée au niveau du striatum, la L-dopa est transformée en dopamine et peut exercer son action biologique en se fixant sur les récepteurs dopaminergiques. L'efficacité de la lévodopa au cours de la MPI n'est pas uniformément observée pour tous les symptômes parkinsoniens. L'akinésie, le tremblement et la rigidité sont en général améliorés par la lévodopa alors que d'autres symptômes continuent d'être perturbés tels que l'instabilité posturale et la dysarthrie qui ne répond pas bien à la Lévodopa (Lakke 1985, Quagliari & Celesia 1977 cités par Gentil et al. 1998). Klawans 1986 cité par Gentil et al. 1998 a montré que des symptômes de la MPI tels que la rigidité, l'écriture et le tremblement deviennent tout à fait réceptifs à la lévodopa à partir de 10 ans de traitement alors que d'autres ne le sont pas comme la parole. Bonnet et al. 1987 cités par Gentil et al. 1998 ont mené une étude auprès de 193 parkinsoniens et montrent que l'effet de la L-dopa sur l'akinésie, la rigidité et le tremblement reste stable au cours de la maladie et notent l'aggravation inexorable des signes axiaux. La variabilité des réponses des symptômes moteurs de la MPI à la L-dopa suggère la possibilité que certains soient exclusivement dus à des lésions dopaminergiques alors que d'autres, tels que la dysarthrie, impliqueraient des lésions non dopaminergiques. Après quelques années de traitement, en raison de la progression de la dénervation et de la modification de la sensibilité des systèmes

récepteurs, apparaît une perte de la réponse à la dopathérapie. Cette baisse des effets du traitement dopaminergiques se traduisent par des fluctuations au niveau des performances motrices avec l'apparition de l'akinésie de fin de dose ou des effets « On - Off » ou au niveau des mouvements anormaux involontaires avec l'apparition de dyskinésies. Le patient perd le bénéfice initial procuré par le traitement.

### **X.1.2. Les symptômes liés au traitement : les fluctuations et les dyskinésies**

Les fluctuations et les dyskinésies sont influencées par l'âge de début de la MPI. Elles sont plus précoces chez les parkinsoniens plus jeunes (Viallet et al. 2001). Les fluctuations sont la réapparition intermittente des symptômes de la MPI. Des fluctuations prévisibles apparaissent en fonction de la prise médicamenteuse telles que l'akinésie de fin de dose et l'akinésie nocturne. Elles sont la conséquence de la perte progressive de la capacité de stockage de la L-dopa ou de la progression du déficit dopaminergique qui élève le seuil d'efficacité clinique de la L-dopa. L'akinésie paradoxale survient après une prise médicamenteuse et semble être le résultat d'un retard d'efficacité du traitement. Les fluctuations imprévisibles apparaissent plus tardivement au cours de l'évolution de la MPI et ne sont pas liées aux prises médicamenteuses. Elles tendent à apparaître à un moment fixe de la journée. Les fluctuations soudaines ou effet On-Off correspondent à des changements précipités de l'état moteur. Les fluctuations imprévisibles sont encore mal expliquées. Les dyskinésies se réalisent en des mouvements anormaux involontaires et sont relatives au cycle de la L-dopa. Elles peuvent se traduire sous forme de mouvements alternatifs répétitifs ou de postures dystoniques douloureuses.

### **X.1.3. Les effets à long terme de la L-dopa**

La L-dopa fait preuve d'une efficacité remarquable sur une période plus ou moins longue variant de 3 à 5 ans selon les individus et selon les sources. Cette période est dite de « lune de miel » et est suivie d'une période dite de « déclin moteur ». Les mécanismes de cette détérioration sont controversés. Pour maintenir l'efficacité dopaminergique, différentes solutions ont été abordées telles que l'introduction de formes galéniques à libération prolongée (LP) de la L-dopa sous une forme soluble et surtout le développement des substances agonistes de la dopamine. Les agonistes : amantadine, apomorphine, piribédil, bromocriptine, lisuride, pergolide, ou ropinirole peuvent être utilisés soit en association soit en substitution de la L-dopa.

## **X.2. Les traitements chirurgicaux**

La chirurgie propose une alternative thérapeutique aux patients pour lesquels le traitement médical ne permet plus un bon contrôle des signes moteurs et de leurs fluctuations sous traitement dopaminergique. Les trois approches chirurgicales sont : les techniques lésionnelles, la stimulation cérébrale profonde et les greffes de cellules dopaminergiques.

### **X.2.1. Les techniques lésionnelles**

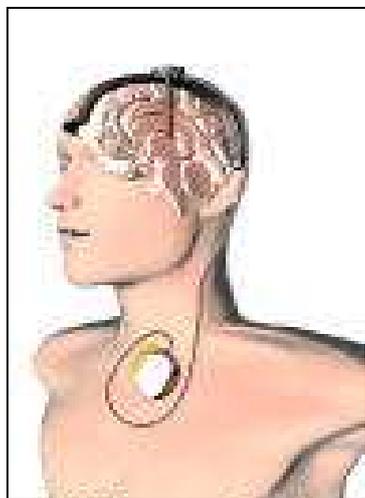
La technique lésionnelle classique par électrocoagulation est irréversible. Selon cette chirurgie, la destruction d'un noyau va éliminer l'activité excessive ou anormale de cette structure. Les deux techniques utilisées sont la thalamotomie et la pallidotomie. La subthalamotomie fait encore l'objet d'évaluations mais pourrait réduire le traitement médicamenteux de 50% selon Patel et al. 2003 cités par Thobois et al. 2005. La thalamotomie consiste à effectuer une lésion au niveau du noyau ventro-latéral du thalamus. Cette destruction localisée a pour effet essentiel de faire cesser le tremblement. La pallidotomie est la destruction localisée de la partie postéro-ventrale du globus pallidus. Elle permet une amélioration des scores moteurs et est efficace sur les dyskinésies dopa-induites. La destruction de la cible est réalisée le plus souvent par électrocoagulation à haute fréquence, la radiochirurgie multifaisceaux est également employée. La difficulté de cette chirurgie lésionnelle est de doser correctement le geste. Les inconvénients majeurs de ces techniques résident dans leur irréversibilité et dans leurs effets indésirables.

### **X.2.2. La stimulation cérébrale profonde**

La stimulation cérébrale profonde à haute fréquence est une chirurgie fonctionnelle apparue à la fin des années quatre-vingts. Une ou deux électrodes (électrode unilatérale ou bilatérale) sont implantées par repérage stéréotaxique dans le cerveau du patient et sont reliées par voie sous-cutanée à un générateur implanté dans la région sous-claviculaire. Cette neurochirurgie fonctionnelle est une thérapie utilisant des impulsions électriques à hautes fréquences (supérieures à 100 Hz) pour modifier des séquences de signaux électriques anormaux du cerveau notamment au niveau des structures de projection du striatum. Le mécanisme d'action de la neurostimulation n'est pas connu et nécessiterait des études complémentaires. Les différentes cibles possibles de la stimulation cérébrale profonde sont : le noyau ventral intermédiaire du thalamus (VIM), la partie ventrolatérale du globus pallidus interne (Gpi) et le noyau subthalamique (NST). Elle est, contrairement à la chirurgie lésionnelle, théoriquement réversible et adaptable au patient par le réglage des paramètres de stimulation.

Historiquement, les premières stimulations cérébrales profondes à haute fréquence ont été réalisées sur le VIM à la fin des années quatre-vingts afin d'agir sur les tremblements résistant au traitement médical. Le suivi à long terme des patients parkinsoniens ainsi traités montrait l'absence d'effet sur les autres symptômes de la maladie, laissant notamment se développer les complications du traitement médical (fluctuations et dyskinésie). De ce fait d'autres cibles cérébrales ont été observées au début des années quatre-vingt dix en se basant sur des travaux expérimentaux sur modèle animal. C'est ainsi qu'ont pu être introduites chez l'homme la stimulation du GPi et plus récemment en 1993, la stimulation du NST. La stimulation cérébrale s'adresse à une population restreinte de patients en échec thérapeutique. Leur état général et mental doit permettre l'acte chirurgical. Le nombre exact de patients relevant de cette chirurgie est estimé de 500 à 1000 nouveaux cas par an. Une étude épidémiologique en cours devrait permettre de préciser ce chiffre. La stimulation cérébrale permet aux patients parkinsoniens de reprendre le contrôle de leur vie. Elle réduit leurs besoins en médicaments et leur dépendance vis-à-vis des autres. La stimulation à haute fréquence du NST a été appliquée pour la première fois en 1993 chez le singe rendu parkinsonien par le MPTP qui est une toxine qui détruit les neurones dopaminergiques dans la laboratoire physiologie et physiopathologie de la signalisation cellulaire du CNRS à Bordeaux. Alim Louis Benabid du laboratoire Neurosciences précliniques de l'INSERM à Grenoble a transféré avec succès la technique à l'homme. Cependant les mécanismes d'action de la stimulation haute fréquence restaient totalement inconnus avant les travaux publiés aujourd'hui par les équipes du laboratoire Physiologie et physiopathologie de la signalisation cellulaire (CNRS - Université de Bordeaux 2) et de l'institut de neurobiologie de la méditerranée (INSERM- Marseille). Le NST tend à devenir la cible privilégiée d'une stimulation bilatérale avec des effets spectaculaires sur l'ensemble des symptômes ; tremblement, rigidité et akinésie, permettant de réduire les médicaments ainsi que les fluctuations et les dyskinésies qui leur sont associés. La technique de stimulation bilatérale du NST est d'une efficacité symptomatique remarquable (Limousin et al. 1998). La procédure opératoire est spécifique à chaque centre. Il s'agit d'une chirurgie stéréotaxique composée d'une séquence complexe d'actes diagnostiques et thérapeutiques. La majorité des experts considèrent que la stimulation cérébrale profonde est efficace sur les symptômes moteurs liés à la maladie de Parkinson. Devant les résultats significatifs de leur étude Limousin et al. 1995 concluent que les effets de la stimulation du NST révèlent l'importance du rôle du NST dans le système des ganglions de la base et dans l'apparition des symptômes parkinsoniens. Garcia et al. (In Press, 2005) observent deux effets de la stimulation haute fréquence ; elle efface l'activité pathologique des neurones sous-

thalamiques et la remplace par l'activité dictée par la stimulation. Ces deux effets ne sont présents ensemble que pour des fréquences de stimulation supérieures à 80 HZ. Pour de nombreux scientifiques, la stimulation réduirait les neurones au silence (théorie de l'inhibition). Pour d'autres, au contraire, elle activerait les neurones. Ces nouveaux résultats démontrent en fait que ces deux effets coexistent mais seulement aux fréquences comprises entre 80 et 100 HZ, c'est-à-dire aux fréquences de stimulation utilisées jusqu'alors de façon empirique en thérapeutique. La stimulation haute fréquence bilatérale du NST s'est répandue progressivement en France et en Europe, bien avant d'atteindre les Etats-Unis où elle reste encore peu pratiquée, loin derrière la pallidotomie. Le principal facteur limitant son utilisation réside dans son coût élevé. Les autres techniques chirurgicales qui restent actuellement utilisées sont essentiellement la stimulation thalamique unilatérale ou bilatérale du VIM et la pallidotomie unilatérale qui est surtout utilisée aux Etats-Unis malgré ses résultats symptomatiques limités. Certaines études (Krack et al. 1998, Dowsey-Limousin & Pollak 2001) comparent de façon plus détaillée les effets de la stimulation du Gpi et du STN et affirment que les résultats préconisent la stimulation du STN. Une enquête épidémiologique, RESPAR (Recensement Stimulation Parkinson) est en cours en France afin d'estimer le nombre de patients atteints de MPI pouvant bénéficier d'une stimulation cérébrale profonde. Selon les experts ce nombre est estimé entre 500 et 1000 cas par an.



**Figure 11: Appareillage de stimulation à hautes fréquences**

### **X.2.3. Les greffes cellulaires**

Les greffes de neurones dopaminergiques embryonnaires sont encore du domaine de la recherche. Elles posent par ailleurs des problèmes bioéthiques.

### **X.3. Autres techniques récentes**

#### **X.3.1. Injection protéinique**

Un nouveau traitement de la MPI a été testé en 2003 par l'équipe du professeur Gill (Bristol, Grande-Bretagne). Il consiste en des injections d'une protéine dans le cerveau du patient. Il s'agit de la protéine glial-derived neurotrophic factor ou GDNF. D'après Gill et al. 2003, cette substance permettrait d'empêcher le déficit en dopamine. Malgré les résultats positifs de cette étude, de nouvelles recherches doivent être menées afin de comprendre le mode d'action de la GDNF et de minimiser les risques que présente cette thérapie. L'hypothèse que, à terme, la GDNF pourrait avantageusement remplacer la L-dopa n'est pas écartée.

#### **X.3.2. Thérapie génique**

Selon Fraix 2004 (INSERM, Grenoble), les nouvelles stratégies thérapeutiques dans la MPI sont fondées sur la neuroprotection des neurones dopaminergiques ou la restauration d'un fonctionnement normal de la voie nigrostriée. La variété des techniques et des gènes utilisés rend difficile l'interprétation des premiers résultats. A terme, le recours à des techniques combinées, associant transfection de facteurs neurotrophiques, d'enzymes de biosynthèse de la dopamine, d'anti-oxydants et d'inhibiteurs de l'apoptose pourrait remplacer les thérapeutiques actuelles.

### **X.4. Les rééducations fonctionnelles**

En contexte de MPI l'atteinte est sélective et affecte la motricité automatique. Il s'agit d'une situation inhabituelle en rééducation motrice. D'autre part les perturbations motrices sont inconstantes à cause des traitements thérapeutiques, de l'évolution de la maladie et des fluctuations. Les rééducations fonctionnelles proposent des programmes d'exercices concernant l'activité physique globale (kinésithérapeute, ergothérapeutes) et/ou l'activité de parole et de déglutition (orthophoniste). Le travail s'adapte à l'état moteur du patient. La rééducation motrice exerce la coordination, la précision et la vitesse du mouvement, le contrôle postural, les rotations axiales, et la marche. La rééducation vocale est complétée par une rééducation respiratoire, les méthodes orthophoniques sont nombreuses mais depuis quelques années la méthode Lee Silverman voice therapy (LSVT) de Ramig et al. 1995 est majoritairement utilisée car son effet bénéfique sur l'intelligibilité générale des parkinsoniens a été démontré. La rééducation de la déglutition observe les mécanismes de fausses routes et exerce les postures de protection.

## **XI. Complications et/ou effets secondaires dus aux traitements**

Lorsque le traitement proposé au patient est la stimulation cérébrale, trois types d'évènements indésirables sont décrits : ceux inhérents à la chirurgie (hémorragie), ceux dus au dispositif médical (infection, dysfonctionnement) et ceux dus aux paramètres de stimulation. La stimulation elle-même peut affecter le statut fonctionnel, cognitif ou comportemental. D'autre part, il est noté que même avec une thérapie médicale optimale, les symptômes parkinsoniens ont tendance à empirer. Les experts reconnaissent l'existence d'évènements indésirables et/ou de complications liés à cette pratique thérapeutique tels que troubles du comportement et troubles métaboliques notamment qui nécessitent de plus amples investigations. En l'état actuel des connaissances, la stimulation cérébrale profonde a démontré sa faisabilité, mais les bénéfices ainsi que les risques de cette modalité thérapeutique doivent être pris en compte. La lévodopa découverte dans les années 1960, reste le traitement standard de la maladie de Parkinson. Malheureusement, elle provoque des effets secondaires parfois insupportables. La stimulation cérébrale représente alors une option thérapeutique pour les patients suivant un traitement pharmaceutique qui n'en supportent pas les effets secondaires.

*Pour résumer ...*

La maladie de Parkinson idiopathique (MPI) est une maladie neurodégénérative d'étiologie inconnue. Le neurotransmetteur dopaminergique du locus niger se raréfie. La MPI atteint environ 1,5 % de la population âgée de plus de 65 ans et n'a aucun traitement curatif à ce jour. Le traitement médical de la MPI a pour principaux objectifs de corriger les symptômes en particulier moteurs, d'atténuer leurs conséquences sur la vie personnelle et sociale du patient et d'augmenter son espérance de vie. La chirurgie de la MPI, utilisée il y a quarante ans, c'est-à-dire la chirurgie lésionnelle qui consiste en la destruction de noyaux cibles du cerveau, fut progressivement abandonnée du fait des avancées en pharmacologie et notamment de l'introduction de la dopathérapie qui a révolutionné la prise en charge des patients depuis trente ans. L'intérêt de la chirurgie a été relancé à cause de la perte de l'efficacité de la dopathérapie au cours du temps. Les progrès de la technique chirurgicale, notamment de la stéréotaxie, et de l'imagerie, ont contribué à l'avancée des techniques de stimulation cérébrale profonde. Elles concernent cependant une population de patients très restreinte et sont mises en œuvre par quelques équipes neurologiques de pointe.

## CHAPITRE IV

### Problématique et Méthodologie

#### I. Problématique

L'observation des dysarthries peut nous aider à comprendre comment le cerveau régule l'action de parole. La parole est un exemple de coordination motrice. Darley et al. 1969 sont les premiers à déclarer que les dysarthries sont un groupe de désordres de la parole résultant de dysfonctionnements du contrôle moteur sous-jacents à la parole dus à des liaisons du système nerveux central et/ou périphérique. Selon eux, les différentes formes de dysarthries sont associées à différentes lésions localisées dans des parties distinctes du circuit neuronal lequel régule la production de parole. La dysarthrie se caractérise par des perturbations au niveau des différentes composantes de la parole ; articulation, voix, prosodie, mais la nature des perturbations peut varier avec le type et la sévérité de la dysarthrie. Les ganglions de la base qui comprennent le striatum (lui même composé du caudate, du putamen et du ventral striatum), le globus pallidus, le noyau sous-thalamique et la substance noire ne préparent pas les programmes moteurs mais contribuent à la spécification des mouvements individuels et à la fluence de leur exécution. Cette conception est en accord avec de nombreuses études (Jennings 1995, Weiss et al. 1997 cités par Kent et al. 2000) qui montrent que la MPI n'est pas perturbée au niveau de la programmation mais au niveau de la performance des mouvements. Les études concernant la MPI sont particulièrement importantes pour la compréhension du rôle des ganglions de la base. Il apparaît que le type de lésion neuronale relative à la MPI n'interrompt pas le programme moteur mais interfère avec l'exécution effective des séquences de mouvements complexes. Nous pensons que la production des consonnes occlusives en contexte de maladie de Parkinson est une illustration des dysfonctionnements moteurs dont la parole peut souffrir. Toutefois, notre problématique ne se centre pas sur les bases cérébrales du contrôle moteur mais sur un niveau périphérique ; nous analysons les aspects acoustique et aérodynamique de la parole parkinsonienne afin de décrire

les dysfonctionnements articulatoires dont elle est le siège. Notre première impression à l'écoute de parkinsoniens en tâche de lecture et de conversation a été celle d'une articulation de la parole approximative. La production de parole semble engager un effort physique important chez les parkinsoniens qui ont tendance à s'essouffler assez rapidement. Nos premières lectures (Gentil et al. 1995) ont attiré notre attention sur le fait que les occlusives seraient réalisées comme des fricatives chez les parkinsoniens. Au cours de notre travail de segmentation et d'étiquetage du corpus recueilli auprès des parkinsoniens nous avons remarqué des indices de fuites d'air pendant la production des occlusives bilabiales. Nous avons observé de façon détaillée les données acoustiques et aérodynamiques permettant de décrire la production dysarthrique. Les occlusives peuvent être perturbées de différentes façons. Les articulateurs sont en cause lorsque les occlusives perdent leur point d'articulation et/ou leur mode articulatoire. Les cordes vocales sont en cause lorsque les occlusives perdent leur mode phonatoire. Mais les dysfonctionnements peuvent être plus complexes ; la dysarthrie hypokinétique peut susciter un déficit au niveau de la coordination entre les activités laryngées et supralaryngées ou être à la base d'un problème de gestion de la dynamique respiratoire pendant l'activité de parole. Les parkinsoniens qui bénéficient d'un traitement médicamenteux et ceux qui ont eu recours à l'implantation du matériel d'électrostimulation sous-thalamique signalent une amélioration globale de leur score. Nous voulons donc observer l'effet de ces traitements sur l'intelligibilité générale des parkinsoniens et, au travers de documents acoustiques et aérodynamiques, qualifier et quantifier avec précision les améliorations de la parole dysarthrique. Afin d'optimiser notre procédure méthodologique notre champ d'observation se consacre à la production des consonnes occlusives bilabiales, la non voisée /p/ et la voisée /b/. Les parkinsoniens sont leurs propres témoins car les comparaisons concernent les occlusives produites par un même sujet avec (On) et sans (Off) traitement médicamenteux ou chirurgical. Nous voulons également savoir si l'un des deux traitements est plus efficace que l'autre sur la production de occlusives et donc sur la production de parole en général. Nous pensons que sous l'effet du traitement, les parkinsoniens retrouvent une certaine habileté articulatoire, phonatoire et respiratoire, ainsi la présence de certaines données aérodynamiques est attendue dans les corpus On car elle constitue un indice fiable de la réalisation des différents événements articulatoires ;

- Une pression intra-orale plus importante pendant la phase de tenue de l'occlusive : une meilleure dynamique respiratoire et/ou une diminution de la résistance laryngée pour les occlusives voisées.

- Une réduction du débit buccal pendant la phase de tenue de l'occlusive : une meilleure occlusion de la part des articulateurs et un meilleur maintien de cette occlusion.
- Une diminution des durées des phases de mises en adduction des articulateurs et de relâchement du point d'occlusion des articulateurs : un gain de rapidité des mouvements articulaires.
- Une augmentation de la durée de la phase de tenue : un bon fonctionnement de la stratégie d'expansion du volume buccal pour les occlusives voisées.

Certaines données se recoupent et se confirment entre elles. Les documents acoustiques révèlent également le comportement articulaire :

- La présence d'un bruit d'explosion : une pression intra-orale et un débit d'air buccal suffisants qui manifestent un bon fonctionnement des mouvements articulaires de fermeture et d'ouverture de la cavité buccale.
- La présence d'un bruit de friction pendant la phase silencieuse de l'occlusive : une occlusion bilabiale incomplète qui laisse s'échapper l'air pendant la phase de tenue de l'occlusive.
- La présence d'un voisement sur l'occlusive non voisée /p/ : une mauvaise configuration de la fente glottique due à une hypertonicité des muscles laryngés ou une perte du contrôle du voisement qui persiste lors de la transition de la voyelle à la consonne.

La parole dysarthrique est très variable d'un sujet à l'autre, notre étude procède de façon à ce que chaque personne constitue son propre sujet, ce mode de comparaison permet de constater précisément les améliorations et de limiter la perte d'information liée à l'importante variabilité qui est une caractéristique propre à la parole dysarthrique.

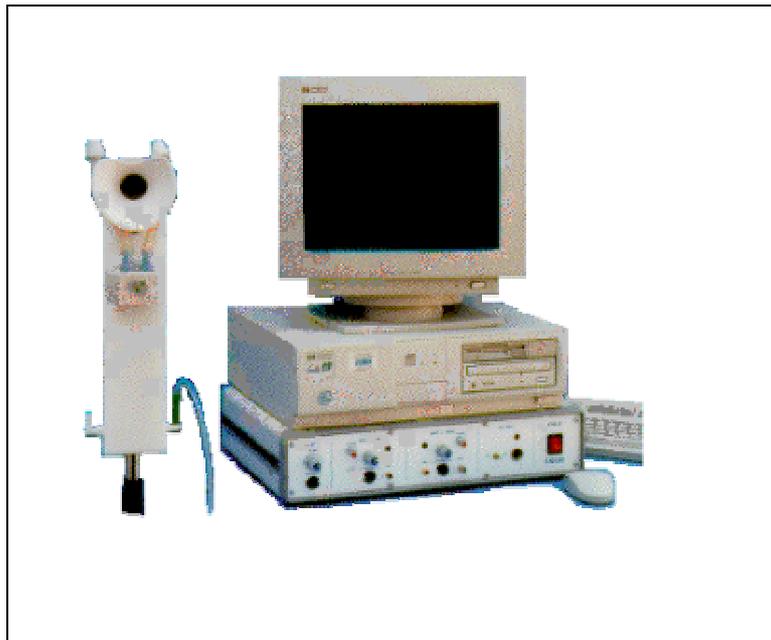
## II. Méthodologie

Ce paragraphe concerne l'aspect méthodologique de notre étude. Il contient tous les détails de la définition du protocole expérimental.

### II.1. Protocole d'enregistrement

#### II.1.1. Instrumentation

Les enregistrements ont été effectués dans les locaux du service de neurologie, au centre d'évaluation des coordinations motrices au Centre Hospitalier du Pays d'Aix. Le recueil de données a été réalisé grâce au système d'Evaluation Vocale Assistée ou EVA (Teston et al. 1999) élaboré par la société S.Q.Lab (Aix-en-Provence), initialement destiné à des applications dans le domaine de l'oto-rhino-laryngologie et phoniatrie.



**Figure 12: Système d'appareillage EVA, Teston et al. 1999**

Cet appareillage permet d'obtenir des données de nature acoustique à travers un microphone qui enregistre le signal de parole et de nature aérodynamique au travers de capteurs aérodynamique. Nous avons recueilli simultanément au signal acoustique le débit d'air buccal et la pression intra-orale. Un masque en silicone est plaqué tout au tour de la bouche du patient de sorte à ne permettre aucune fuite d'air, une sonde d'environ 4 cm de long et 5 mm de diamètre est placée au milieu du masque. Le locuteur doit pincer, sans écraser la sonde entre ses dents. Le locuteur doit garder les dents serrées sur la sonde pendant toute la production, seules les lèvres

peuvent s'ouvrir et se fermer. Le locuteur est donc amené à sur-articuler. L'ensemble des capteurs et embouts est disposé sur une pièce à main montée sur un pied de hauteur réglable que l'on positionne face à la personne. Cette pièce à main est reliée à un micro-ordinateur PC. La fréquence d'échantillonnage du signal acoustique est de 25000 Hz, 12 bits, et de 6250 Hz, 12 bits pour les données aérodynamiques. Avant de procéder aux enregistrements, les différents paramètres aérodynamiques sont calibrés de façon manuelle.

### **II.1.2. Conditions d'enregistrement**

Les parkinsoniens sont enregistrés dans deux conditions, en condition On et en condition Off. Les patients sous traitement médicamenteux sont sous l'effet de la L-dopa en condition On-D et sont sevrés de L-dopa en condition Off-D. Pour les patients stimulés, l'électrode est active et stimule la région sous-thalamique du cerveau du patient en condition On-S et est inactive et sans effet en condition Off-S (les symptômes parkinsoniens réapparaissent instantanément). Les deux enregistrements sont effectués le même jour pour une même personne car lorsque les patients sont admis en visite au service de neurologie ils y restent souvent la matinée complète et ne repartent qu'en milieu d'après-midi afin de se rendre à tous les examens et entretiens nécessaires au suivi de la maladie. Nous profitons de leur temps d'attente pour les convier aux enregistrements. Les patients sous traitement médicamenteux sont priés de se présenter au service de neurologie tôt le matin et sans prendre la dose médicamenteuse matinale, nous effectuons les enregistrements Off-D à cette occasion. Nous procédons à l'enregistrement On-D au minimum 1 heure après la première prise médicamenteuse de la journée pour laisser le traitement agir pleinement. La procédure est différente avec les patients sous traitement chirurgical. Ils arrivent au service de neurologie alors que la stimulation sous-thalamique est active et effectuent alors l'enregistrement On-D avant leur rendez-vous avec le neurologue qui, pour des raisons propres à l'examen neurologique va manipuler le boîtier de commande des électrodes afin d'inactiver la stimulation haute fréquence. L'enregistrement Off-D a lieu au minimum 45 minutes après l'interruption de la stimulation. Pour des raisons méthodologiques, lorsque les enregistrements On et Off ne peuvent pas être réalisés dans la même journée, le patient n'est pas retenu pour cette étude. Nous évitons ainsi de comparer des enregistrements qui pourraient comporter des différences dues au temps qui les sépare, la maladie de Parkinson étant une maladie évolutive. Il est arrivée que la session d'enregistrement soit interrompue pour différentes raisons, tel que bruits, déplacement soudain du masque buccal ou gênes diverses du patient. Pour certains sujets la totalité des répétitions des 4 dissyllabes a été recueilli sur deux sessions d'enregistrement séparées par

une pause de quelques minutes permettant de remédier au problème. C'est le cas pour les sujets d05, s03 et s04. Nous avons donc nommé les sessions d'enregistrements A ou B.

### **II.1.3. Corpus**

#### **II.1.3.1. Contexte**

Le laboratoire Parole et Langage de l'Université de Provence et le service de neurologie du Centre Hospitalier du Pays d'Aix mènent depuis plusieurs années un projet de recherche commun ayant abouti à plusieurs publications dans le domaine de la dysarthrie parkinsonienne et à la mise en place d'une base de données acoustiques et aérodynamiques sur la parole parkinsonienne : MPAIX-500. Les enregistrements débutés en 1997 sous l'égide du Docteur F. Viallet se perpétuent et depuis cinq ans deux personnes dirigent les enregistrements de façon régulière à raison de deux matinées par semaine. Les enregistrements se déroulent en plusieurs étapes ; différentes tâches sont proposées au locuteur. 1) La tâche de production de la voyelle /a/ : /a/ tenu, grave et faible, grave et fort, aigu et faible, aigu et fort. 2) La tâche de répétition de différentes phrases telles que : « Ta tante a chanté. », « Ne m'attends pas. », « Ta toupie va trop vite. », « C'est une affaire intéressante, qu'en pensez-vous ? », « Papa ne m'a pas parlé de beau papa. ». 3) La tâche de lecture : extrait du texte de « La chèvre de Monsieur Seguin » d'Alphonse Daudet. 4) La tâche de répétition des séquences : [ba, be, bi, bo, bu, ga, ge, gi, go, gu, a, e, i, o, u], [kaka, kiki, papa, pipi, pataka, pitiki, tata, titi]. 5) La tâche de description d'image. Les différentes tâches permettent de réaliser des enregistrements dans différentes situations d'élocution (répétition, lecture, production). Les différents modes de phrases (déclaratives et interrogatives) peuvent rendre compte de la prosodie du patient. Les patients participent aux enregistrements à l'occasion de leur présence à l'hôpital de jour lors de visites au service de neurologie. La plupart des patients renouvellent l'expérience plusieurs fois dans l'année. Les 500 locuteurs sont pour la plupart des parkinsoniens, mais nous possédons quelques enregistrements de sujets témoins qui sont souvent les conjoints des patients. Des parkinsoniens ont été enregistrés en situation ON ou en situation OFF et d'autres dans les deux conditions. Certains parkinsoniens sont sous traitements médicamenteux, d'autres sous traitement chirurgical. Quelques patients ont été enregistrés sous l'influence des deux types de traitement car ils étaient traités initialement à la L-dopa puis ont subi par la suite l'intervention chirurgicale d'implantation du matériel de stimulation sous-thalamique.

### **II.1.3.2. Tâche de production**

J'ai été accueillie au service de neurologie afin d'assister aux enregistrements et j'ai eu l'occasion de proposer une tâche de production supplémentaire afin de constituer le corpus de mon étude. Nous voulions observer précisément la production des occlusives puisque, comme nous l'avons déjà mentionné, en contexte de maladie de Parkinson, elles sont particulièrement affectées par la dysarthrie hypokinétique. Pour des raisons de réduction de l'étendue du corpus nous avons choisi de ne retenir que les occlusives bilabiales, la voisée /b/ et la non voisée /p/. Ce choix facilite également le recueil des données aérodynamique. Les occlusives bilabiales sont produites au niveau des lèvres ; les deux lèvres se rencontrent afin de réaliser l'occlusion. Il est donc très aisé de recueillir la pression intra-orale à l'aide d'une petite sonde maintenue entre les dents ainsi que le débit d'air buccal à la sortie des lèvres. Nous avons choisi le /a/ voyelle ouverte et le /i/ voyelle fermée afin d'observer l'occlusive dans les deux contextes vocaliques extrêmes. Le patient est donc contraint à une tâche de répétition de dissyllabes de type VCV, [apa] [aba] [ipi] [ibi], dix fois chacune. Il peut reprendre son souffle à son gré et la consigne est de parler le plus distinctement possible, à un rythme de parole dit normal et régulier, en marquant un temps de pause entre chaque séquence. Le corpus devrait être constitué de dix répétitions de chacune des quatre dissyllabes pour chacun des dix sujets et ce dans deux conditions d'enregistrements Off et On.

### **II.1.3.3. Corpus effectif**

Lors de l'enregistrement, le locuteur est guidé par l'expérimentateur qui lui fait signe lorsque les 10 répétitions de la dissyllabe sont réalisées afin qu'il puisse passer à la suivante mais la plupart du temps le locuteur ne s'arrête pas instantanément et continue de produire quelques répétitions de la même dissyllabe, de 2 à 8 répétitions supplémentaires sont produites, de ce fait nous avons constaté que nous avons souvent 12 répétitions de chacune des dissyllabes. Nous avons donc décidé de prendre en compte 12 répétitions au lieu de n'en conserver que 10. Par contre, nous ne choisissons pas les répétitions ; nous ne considérons que les 12 premières répétitions et parmi celles-ci nous ne conservons que celles qui permettent la pose de la série d'étiquettes nécessaires à notre analyse (voir § II.2.3.), c'est-à-dire celles qui présentent des données acoustiques et aérodynamiques exploitables. Lorsque l'une des 11 étiquettes ne peut pas être placée, excepté les étiquettes c et r qui sont facultatives mais indissociables, la répétition n'est pas retenue. Occasionnellement, les défaillances du système ont perturbé le signal acoustique et/ou aérodynamique lors de certaines répétitions pour certains sujets, mais c'est souvent un problème de gestion de la sonde buccale et/ou du

masque buccal qui est la cause de la dégradation des données, en effet, les locuteurs ont tendance à se crispier sur la sonde qu'ils serrent exagérément entre les dents et qui ne permet plus le recueil aérodynamique. Parfois, les locuteurs ont des mouvements brutaux de la tête qui fait bouger le masque buccal mettant en cause son étanchéité. De toutes évidences, pour certains locuteurs, c'est la fatigue qui perturbe la production de parole et qui les pousse à terminer rapidement les enregistrements en minimisant les efforts articulatoires. Lorsque les disponibilités des expérimentateurs et des locuteurs le permettent, une deuxième session est proposée aux patients et l'enregistrement est renouvelé. Nous donnons aux sessions l'appellation A ou B afin de les distinguer. Ainsi, une deuxième session d'enregistrement a été réalisée par les sujets d04 en état Off, d05 en état On, s04 en état Off et So5 en état Off et On. Nous récapitulons le nombre de répétitions prises en compte pour notre étude sous forme de tableau (voir tableau 1) ; il ne s'agit pas du nombre de répétitions réalisées par le sujet mais du nombre de répétitions retenues pour notre étude. Au total, nous avons retenu 888 dissyllabes qui constituent le corpus de notre analyse. Malgré l'attention particulière que nous avons apporté au recueil des données, pour un sujet, le sujet d05, nous n'avons qu'une seule occurrence retenue pour les répétitions de /ibi/ lorsqu'il est en état Off et aucune occurrence pour les répétitions de /ipi/ et /ibi/ lorsqu'il est en état On.

Sujet	Session	Etat	apa	aba	ipi	ibi	Total
d01	A	Off	11	11	11	11	92
	B	Off	-	-	-	-	
	A	On	12	12	12	12	
	B	On	-	-	-	-	
d02	A	Off	11	11	11	12	93
	B	Off	-	-	-	-	
	A	On	12	12	12	12	
	B	On	-	-	-	-	
d03	A	Off	11	12	12	11	91
	B	Off	-	-	-	-	
	A	On	11	12	10	12	
	B	On	-	-	-	-	
d04	A	Off	11	11	0	0	89
	B	Off	0	0	9	11	
	A	On	12	12	11	12	
	B	On	-	-	-	-	
d05	A	Off	11	10	10	1	74
	B	Off	-	-	-	-	
	A	On	10	11	0	0	
	B	On	11	10	0	0	
s01	A	Off	12	11	11	11	80
	B	Off	-	-	-	-	

	A	On	11	9	9	6	
	B	On	-	-	-	-	
s02	A	Off	12	11	11	11	93
	B	Off	-	-	-	-	
	A	On	12	12	12	12	
	B	On	-	-	-	-	
s03	A	Off	11	12	12	10	89
	B	Off	-	-	-	-	
	A	On	11	12	10	11	
	B	On	-	-	-	-	
s04	A	Off	10	10	5	0	93
	B	Off	0	0	11	10	
	A	On	11	12	12	12	
	B	On	-	-	-	-	
s05	A	Off	10	9	8	4	94
	B	Off	0	0	0	9	
	A	On	12	10	5	0	
	B	On	0	7	10	10	
Total			235	239	214	200	888

**Tableau 1: Corpus effectif**

#### II.1.4. Sujets

Dix sujets dont le diagnostic de maladie de Parkinson a été établi ont participé à l'étude. Cinq d'entre eux sont sous traitement pharmacologique dopaminergique et cinq sont appareillés de l'électrode de stimulation sous-thalamique. La liste des sujets est reportée en table 1. Nous nommons les patients en leur attribuant un numéro précéder de la première lettre de leur traitement. Ainsi, les patients sous traitement pharmacologique dopaminergique sont les sujets d01, d02, d03, d04 et d05. Les patients ayant subi l'intervention chirurgicale d'implantation du matériel de stimulation sous-thalamique sont les sujets s01, s02, s03, s04 et s05. Les 10 parkinsoniens sont de langue maternelle française, ils proviennent de régions différentes de France. Nous n'avons pas sélectionné les patients car nous avons procédé aux enregistrements en fonction des admissions au service de neurologie. Pour des raisons évidentes, nous avons retenu des personnes qui ne présentaient pas de problèmes de dentier et, pour les hommes, ceux qui ne possédaient pas de barbe ni de moustache afin de ne pas gêner le port du masque. Nous n'avons proposé cette tâche de production supplémentaire qu'aux personnes que nous avons jugé capables d'y participer sans en être grièvement affaiblies, surtout en situation Off. En effet, les personnes sevrées de L-dopa (Off-D) et celles dont la stimulation est inactive (Off-S) voient les symptômes parkinsoniens tels que tremblement, hypertonie et akinésie

refaire surface très rapidement et ressentent une gêne inconfortable qui s'avère vite insupportable pour certaines d'entre elles.

Sujet	sexe	Age (ans)	Traitement	Score UPDRS		Durée de maladie (ans)
				Off	On	
d01	F	69	Médicaments	29	20	15
d02	H	55	Médicaments	43	12	15
d03	H	61	Médicaments	50	21	14
d04	F	71	Médicaments	36	12	11
d05	H	51	Médicaments	10	2	12
s01	F	66	Stimulation	-	5	14
s02	H	54	Stimulation	44	23	10
s03	H	61	Stimulation	35	20	16
s04	F	59	Stimulation	52	18	10
s05	H	69	Stimulation	46	16	10

**Tableau 2 : Renseignements concernant les sujets**

Enfin, une table a été mise à disposition des personnes qui, ne supportant pas la station debout prolongée, pouvaient s'y appuyer. Certains enregistrements n'ont pas pu être exploités car les données aérodynamiques se sont avérées défectueuses. En effet 3 enregistrements ont été abandonnés ; deux patients serraient excessivement la sonde entre leurs dents et le troisième ne pouvait contenir certains mouvements de la tête faisant bouger le masque à plusieurs reprises et entraînant des fuites d'air.

## II.2. Dispositif expérimental

### II.2.1. Traitement des données

Les enregistrements ont été sauvegardés sur CD-ROM. Les données de nature acoustique et aérodynamique ont été analysées avec le logiciel Phonédit, spécialement adapté à l'étude des paramètres de la voix, de la parole et du langage. Ce logiciel a été élaboré par la Société SQLab (Aix-en-Provence). Son mode de fonctionnement sous environnement Windows 98 est contraignant mais il a été délibérément choisi comme matériel d'étude car il comporte des documents aérodynamiques de très bonne qualité et différentes options facilitant le travail de segmentation du signal acoustique comme nous l'expliquerons plus loin.

### **II.2.2. Matériel méthodologique**

L'étude de Gracco et al. 1992, faisant suite à des travaux de Müller et Brown 1980, propose une analyse aérodynamique de la production des occlusives dans la maladie de Parkinson. Trois phases successives sont distinguées pendant la production d'une occlusive ; la phase de fermeture durant laquelle l'occlusion se met en place, la phase de tenue de l'occlusion durant laquelle les articulateurs se maintiennent en position de fermeture et la phase d'ouverture durant laquelle l'occlusion se relâche. L'observation du débit d'air buccal (Dab) et de la pression intra-orale (Pio), complétée par les informations présentes sur le spectrogramme permet de délimiter ces trois phases. La Figure 7 (Chapitre I, § V. 1.) est tirée de Gracco et al. 1992 où Tc est la durée de la phase de fermeture, Tr la durée de la phase d'ouverture, Pu le pic de débit d'air au relâchement et Pp le pic de pression intra-orale pendant la phase de tenue de l'occlusive. Les auteurs délimitent Tc et Tr de la façon suivante ; Tc est la durée entre le point où la Pio quitte la valeur zéro et le point où le Dab gagne la valeur zéro. Tr est la durée entre le point où le Dab quitte la valeur zéro et le point où la Pio regagne la valeur zéro. En effet, la production d'une occlusive se réalise idéalement de la façon suivante : pendant la phase de fermeture, la Pio augmente derrière l'occlusion qui est en train de se mettre en place et le Dab diminue progressivement jusqu'à atteindre la valeur zéro lorsque l'occlusion est réalisée. Pendant la phase de tenue, la Pio continue d'augmenter jusqu'à atteindre sa valeur maximale. Le Dab est stable et de valeur nulle car l'occlusion empêche le passage de l'air. Pendant la phase d'ouverture, au relâchement de l'occlusion, l'air s'échappe de façon précipitée et donne le bruit d'explosion. La Pio diminue jusqu'à atteindre la valeur zéro à la fin de la phase d'ouverture. Le Dab va augmenter précipitamment jusqu'à sa valeur maximale pour redescendre à nouveau. Lorsque les limites des trois phases sont déterminées, des mesures de durées de ces phases peuvent être effectuées. Pour Gracco et al. 1992 les phases de fermeture et d'ouverture de longue durée traduisent une lenteur des mouvements d'aperture et de fermeture de la part des organes articulatoires chez le parkinsonien et impliquent un problème de coordination entre les organes laryngés et supralaryngés. Notre étude reprend ce procédé d'étiquetage. Plusieurs étiquettes ont été utilisées afin de délimiter les différentes phases ou événements de l'occlusive.

### **II.2.3. Procédure d'étiquetage**

Grâce au logiciel Phonédit, nous pouvons visualiser les documents acoustiques et aérodynamiques de façon synchronisée à l'écran et, à l'aide d'un petit curseur, nous pouvons

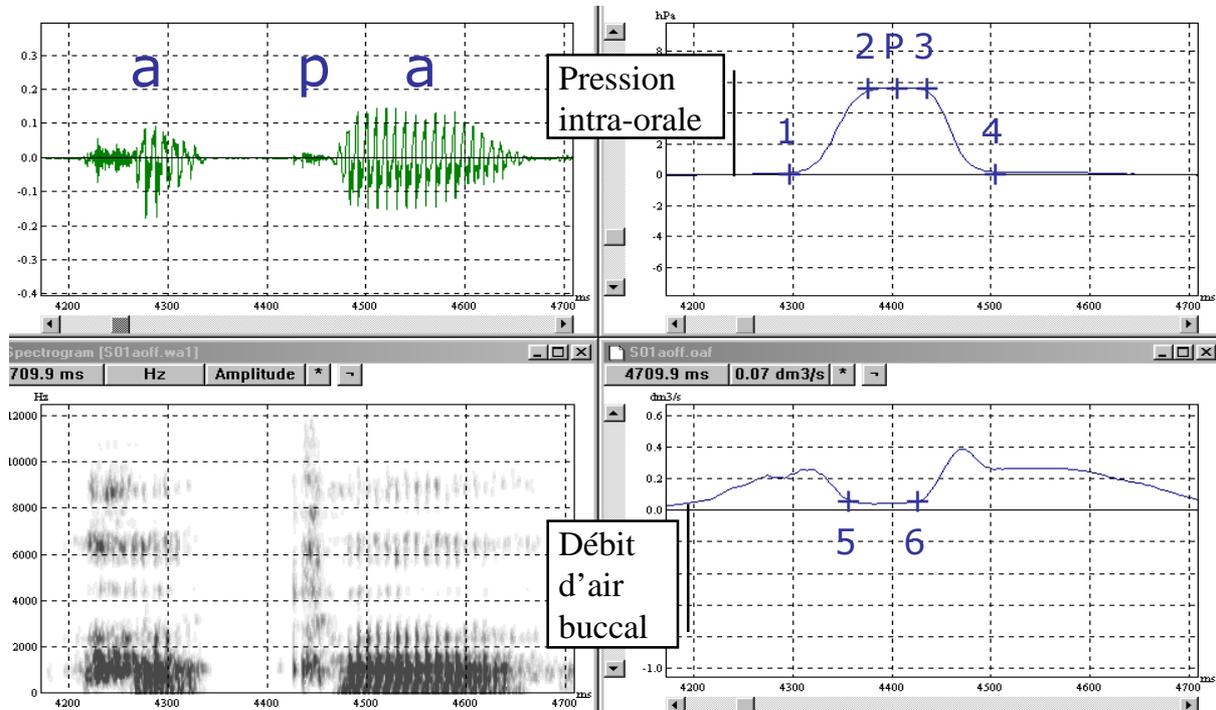
à tout moment connaître la valeur exacte de la pression ou du débit en n'importe quel point de la courbe de Pio ou de Dab. La Pio est mesurée en hPa (hectopascal) et le Dab en  $\text{dm}^3/\text{s}$  (décimètre cube par seconde). Nous avons positionné les étiquettes de façon manuelle sur les documents pour les 20 enregistrements de répétitions des 4 dissyllabes; l'automatisme n'étant pas adapté à ce type de corpus. Nous avons rencontré différents problèmes lors du positionnement de certaines étiquettes car les courbes recueillies auprès des parkinsoniens sont loin de la configuration de celles représentées sur le document de Gracco et al. 1992. Les événements aérodynamiques et acoustiques ne sont pas toujours coordonnés, de plus la correspondance entre la courbe de Pio et la courbe de Dab n'est pas toujours présente. Nous avons du faire de nouveaux choix de localisation des étiquettes et nous y soumettrons de façon régulière tout au long de ce travail d'étiquetage afin de garder une certaine logique et de garantir la possibilité de l'étude comparative postérieure.

Sept étiquettes sont positionnées en fonction de la courbe de variations de la Pio. L'étiquette 1 est placée idéalement au point où la courbe de la Pio quitte la valeur zéro pour commencer son ascension. La réalité articulo-occlusive des occlusives bilabiales chez les parkinsoniens entraîne rarement un tracé de la courbe de la Pio qui part de la valeur zéro ainsi l'étiquette 1 est placée à la valeur la plus basse de la Pio au point de départ de son ascension. L'étiquette 2 est placée au point où la courbe de la Pio a terminé son ascension et atteint une valeur « stable ». L'étiquette p marque le pic (valeur maximale) de Pio pendant la phase de tenue. L'étiquette 3 est placée au point où la courbe de la Pio amorçe sa chute. L'étiquette 4 marque le retour de la courbe de la Pio à la valeur 0 idéalement ou la valeur minimale qu'atteint la Pio après le relâchement de l'occlusion. Lorsque la courbe de la Pio conserve une valeur stable entre l'étiquette 2 et l'étiquette 3, c'est au centre de ce plateau que se place l'étiquette p (pic de pression). Lorsque la courbe de variations de la Pio ne présente pas de plateau, les étiquettes 2 et 3 se superposent à l'étiquette p marquant le pic de pression et le lieu de changement de direction de la courbe simultanément.

Quatre étiquettes sont positionnées en fonction de la courbe de variations du Dab. L'étiquette 5 est placée au point où la courbe du Dab a terminé sa chute et atteint une valeur à peu près stable. Cette valeur est rarement égale à zéro chez les parkinsoniens qui, comme nous le verrons plus en détail par la suite, réalisent des occlusives avec une fuite d'air pendant la phase qui devrait être la phase de tenue de l'occlusive. Toutefois, lorsque le Dab atteint la valeur zéro c'est l'étiquette c (closure) qui est utilisée et l'étiquette r (release) marque le point où le Dab redevient positif. L'étiquette 6 est placée au point où le Dab amorçe son ascension. Les étiquettes peuvent se superposer. Si le Dab est toujours positif, les étiquettes c et r sont

inexistantes. Si le Dab se stabilise à la valeur zéro, les étiquettes 5 et c et les étiquettes 6 et r se superposent.

La figure 13 permet de visualiser les étiquettes placées à partir de la Pression intra-orale et du Débit d'air buccal. Les étiquettes c et r sont absentes car pour cette répétition de [apa] le Débit d'air buccal est positif pendant la phase de tenue de l'occlusive.



**Figure 13 : Etiquettes à partir des données aérodynamiques**

Chaque étiquette est nommée de la façon suivante : le nom du sujet (qui contient l'information du traitement thérapeutique) suivi de la lettre de session d'enregistrement, suivi de l'état du patient au moment de l'enregistrement (Off ou On), suivi de l'abréviation de la dissyllabe (ap pour les répétitions de [apa], ab pour les répétitions de [aba], ip pour les répétitions de [ipi] et ib pour les répétitions de [ibi]), suivi du numéro de la répétition (de 01 à 10) puis du numéro ou de la lettre désignant l'événement aérodynamique (1, 2, 3, 4, 5, 6, p, c ou r). Par exemple, l'étiquette 1 de la première répétition de [apa] pour le premier sujet sous traitement dopaminergique en état Off lors de la première session d'enregistrement est d01AOffap011. Nous avons placé ces étiquettes pour les 10 répétitions de chacun des 4 dissyllabes pour les 20 enregistrements (10 parkinsoniens selon 2 conditions chacun).

### **II.3. Procédure d'analyse**

#### **II.3.1. Objectifs**

Le but de la mise en place de ce protocole expérimental est, dans un premier temps, de mieux comprendre les dysfonctionnements affectant la production des consonnes [p] et [b] dans la maladie de Parkinson, c'est-à-dire en contexte de dysarthrie hypokinétique, et, dans un second temps, d'observer les effets de deux traitements proposés aux patients, médicamenteux et chirurgical, sur la production de ces consonnes. Nous voulons, après avoir qualifier et quantifier les phénomènes de dysfonctionnement, observer l'impact des traitements sur l'activité de parole en nous adonnant à une procédure comparative des données entre les 4 groupes de patients ; les groupes Off-D, On-D, Off-S et On-S. Certaines études rapportent un effet favorable du traitement pharmaceutique et d'autres du traitement chirurgical sur la production de parole parkinsonienne et nous souhaitons vérifier objectivement cette amélioration de la parole et, dans le cas où elle est effective, nous souhaitons la quantifier. Le fait d'avoir 4 groupes de sujets nous permettra de comparer de façon méthodologique l'efficacité des deux différents traitements. En effet, ce sont les progrès potentiels que chaque groupe de sujets a fait qui nous intéressent, ces progrès résident dans la comparaison des données entre l'état On et l'état Off pour le groupe des sujets sous traitement médicamenteux et pour le groupe de sujets appareillés de l'électrode de stimulation. La quantification de l'amélioration pour les sujets sous traitement médicamenteux est établie grâce à l'obtention de l'écart entre les mesures des données Off-D et les mesures des données On-D. La quantification de l'amélioration pour les sujets appareillés de l'électrode de stimulation est établie grâce à l'obtention de l'écart entre les mesures des données Off-S et les mesures des données On-S. La comparaison de ces deux écarts nous permettra de comparer directement les effets des deux traitements différents. Nous avons développé un protocole expérimental nous permettant d'effectuer des mesures de durées des différentes phases articulatoires de l'occlusive ainsi que des mesures des quantités de débit et de pression à des moments précis de l'articulation afin de nous renseigner de la vitesse, de la précision et de la coordination des mouvements articulatoires impliqués dans la production des occlusives chez des parkinsoniens avec et sans deux types de traitements thérapeutiques. Le test de transcription permettra de mettre en corrélation la performance des patients et les dysfonctionnements articulatoires décrits.

### II.3.2. Analyse temporelle

Des mesures temporelles des différentes phases de production de l'occlusive peuvent être effectuées grâce aux étiquettes précédemment positionnées sur les documents. Les étiquettes nous informent de certains événements articulatoires et l'observation de la concordance des différentes étiquettes permet de rendre compte de la synchronisation ou, au contraire du manque de coordination entre ces événements.

#### II.3.2.1. Durée des différentes phases articulatoires : vitesse des mouvements articulatoires

Nous pouvons effectuer des mesures temporelles entre les différentes étiquettes. Nous devons au préalable déterminer entre quelles étiquettes se situent les différentes phases de production de l'occlusive ; phases de fermeture, de tenue et d'ouverture. A partir de la localisation de la phase de tenue de l'occlusive nous pouvons déterminer les deux autres phases articulatoires, la phase de fermeture et la phase d'ouverture (voir figure 14).

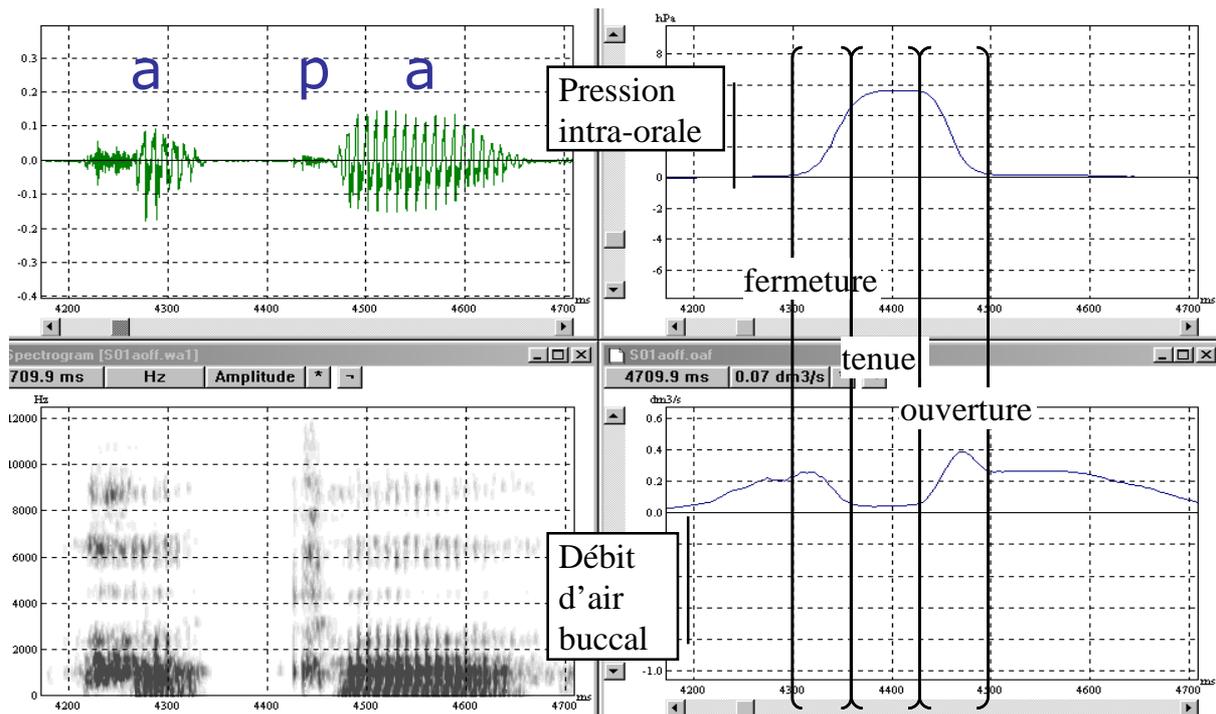


Figure 14 : Délimitation des trois phases articulatoires de l'occlusive

#### ◆ La phase de tenue de l'occlusive

Les étiquettes 5 et 6 désignent un plateau sur la courbe du Dab qui signifie que les articulateurs maintiennent une certaine position de façon stable pendant un laps de temps. Lorsque l'occlusion est totale le Dab est nul pendant cette phase articulatoire et nous utilisons les étiquettes c et r pour le notifier. Entre les étiquettes 5 et 6 nous pouvons mesurer la durée

de la phase qui est la phase de tenue de l'occlusive, puisque le Dab est positif nous pensons que l'occlusion est incomplète mais les articulateurs maintiennent une position fixe pendant cette phase. Lorsque les étiquettes c et r sont présentes, la durée de la phase c-r correspond à une durée de tenue d'une occlusion effective au niveau des lèvres puisque le Dab est nul mais la durée de la phase c-r est parfois plus courte que la durée de la phase 5-6 ; lorsque l'étiquette 5 se situe avant l'étiquette c le point d'occlusion n'a pas été réalisé de façon soudaine et nette mais plutôt de façon progressive et de même, lorsque l'étiquette r se situe avant l'étiquette 6, le relâchement de l'occlusion n'a pas été réalisé de façon brusque.

◆ **La phase de fermeture de l'occlusive**

Avant de pouvoir tenir l'occlusive, les articulateurs se mettent en position de fermeture articuloire. Le début de l'occlusion se situe à partir de l'augmentation de la courbe de Pio et se termine lorsque le Dab atteint une position stable (idéalement la valeur zéro). Ainsi, entre l'étiquette 1 et l'étiquette 5 nous pouvons mesurer la durée de la phase de fermeture durant laquelle les articulateurs, ici les lèvres, se mettent en position d'occlusion.

◆ **La phase d'ouverture de l'occlusive**

Après avoir tenu l'occlusive pendant un laps de temps, les articulateurs se mettent en position d'ouverture afin de relâcher l'occlusion. Le début de la phase d'ouverture se situe à partir d'une augmentation de la courbe de Dab (idéalement lorsque le Dab quitte la valeur zéro) et se termine lorsque la courbe de la Pio a achevé sa chute et de retour à la valeur zéro. Ainsi, entre l'étiquette 6 et l'étiquette 4 nous pouvons mesurer la durée de la phase d'ouverture durant laquelle les lèvres relâchent l'occlusion et prennent la position nécessaire à l'articulation de la voyelle qui suit.

Dans un premier temps, nous effectuerons des mesures de la phase de fermeture entre les étiquettes 1 et 5, de la phase de tenue entre les étiquettes 5 et 6 et entre c et r lorsque les étiquettes c et r sont présentes et enfin de la phase d'ouverture entre les étiquettes 6 et 4. Nous procéderons à une comparaison des mesures temporelles pour un même sujet selon les deux situations d'enregistrement afin de nous rendre compte de l'effet des traitements au niveau de la rapidité des mouvements articuloires impliqués dans la production des occlusives bilabiales.

### **II.3.2.2. Observation de la synchronisation des évènements aérodynamiques : coordination des mouvements articulatoires**

Comme nous l'avons déjà décrit, idéalement au relâchement de l'occlusion la Pio est à son maximum et va chuter précipitamment, simultanément le Dab qui est nul quitte la valeur zéro pour une ascension très importante et très rapide. L'étiquette 6 marque le début de l'ascension du Dab et l'étiquette 3 le début de la chute de la Pio. Lorsque les étiquettes 6 et 3 ne se superposent pas, ces deux évènements aérodynamiques ne sont pas synchronisés et témoignent d'un problème de coordination articulatoire. Nous effectuerons des mesures de la phase de décooordination entre le relâchement du point d'occlusion et la chute de la Pio entre les étiquettes 3 et 6. Nous procéderons à une comparaison des mesures temporelles pour un même sujet selon les deux situations d'enregistrement afin de nous rendre compte de l'effet des traitements au niveau de la coordination des mouvements articulatoires impliqués dans la production des occlusives bilabiales.

### **II.3.3. Analyse de la quantité de Dab pendant la phase de tenue de l'occlusion : indice de fuite**

Nous observons la quantité de Dab (en  $\text{dm}^3/\text{sec.}$ ) pendant la phase de tenue de l'occlusive, c'est-à-dire entre les étiquettes 5 et 6 (voir figure 15). La présence d'un Dab positif pendant cette phase témoigne d'une occlusion incomplète effectuée au niveau des lèvres et nous voulons quantifier cette fuite d'air afin de procéder à des analyses comparatives entre les différents groupes de sujets. Cet indice de fuite nous informe de la précision des mouvements articulatoires impliqués dans la production des occlusives bilabiales. Nous procéderons à une comparaison des mesures quantitatives du Dab pendant la pseudo phase de tenue de l'occlusion pour un même sujet selon les deux situations d'enregistrement afin de nous rendre compte de l'effet des traitement au niveau de la précision des mouvements articulatoires impliqués dans la production des occlusives bilabiales.

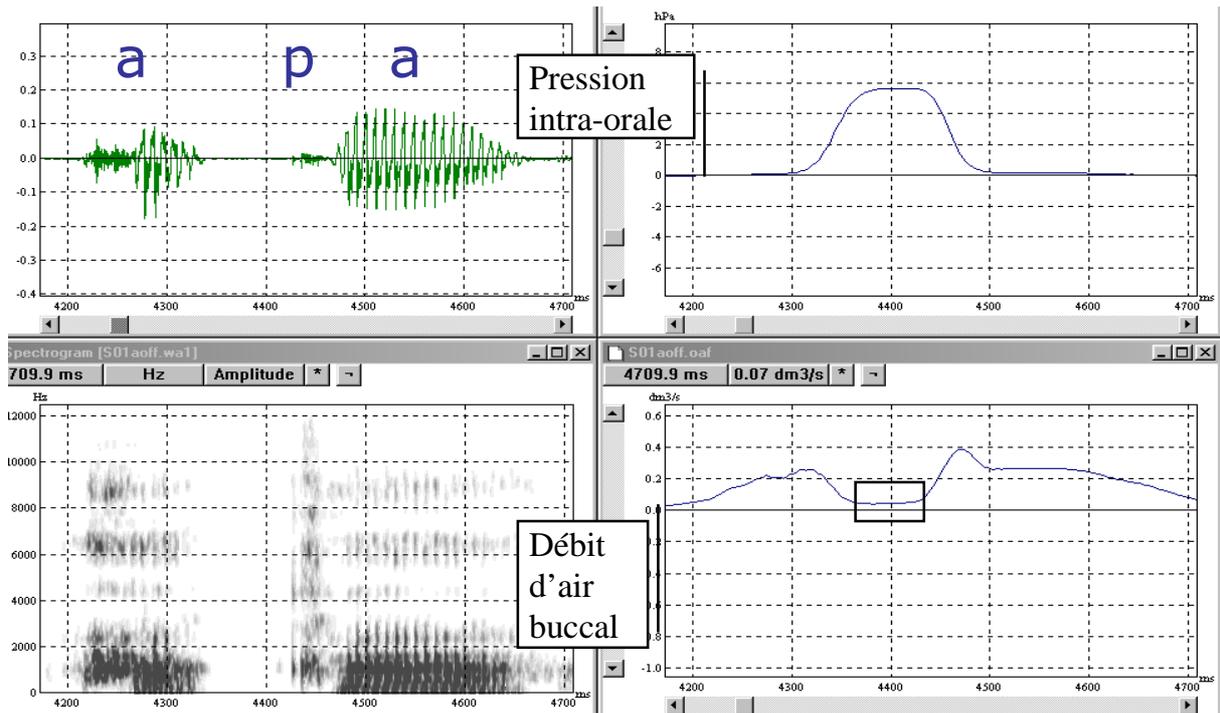


Figure 15 : Observation du Débit d'air buccal pendant la phase de tenue de l'occlusive

#### II.3.4. Analyse du pic de $P_{io}$ pendant la phase de tenue de l'occlusive

Nous avons relevé les valeurs du pic de  $P_{io}$  (en hPa) pendant la phase de tenue de l'occlusive (voir figure 16) car, d'une part, nous pensons qu'elle peut être un indice du bon fonctionnement de la dynamique respiratoire impliquée dans la production de parole et d'autre part elle témoigne des mécanismes mis en œuvre par l'opposition de voisement entre [p] et [b]. Nous procéderons à une comparaison des mesures quantitatives du maximum de la  $P_{io}$  pendant la phase de tenue de l'occlusion pour un même sujet selon les deux situations d'enregistrement afin de nous rendre compte d'une part de l'effet des traitements au niveau de la dynamique respiratoire pendant l'activité de parole et d'autre part des mouvements articulatoires mis en œuvre dans la distinction du mode phonatoire des occlusives bilabiales.

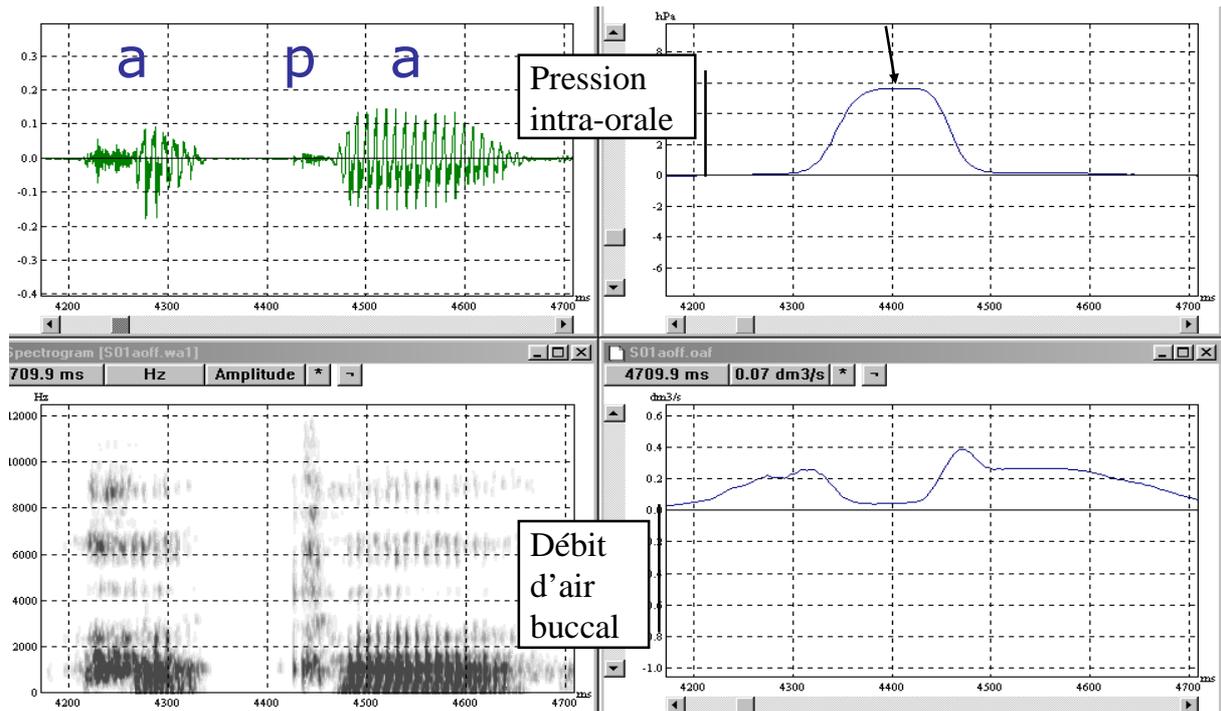


Figure 16 : Observation du Pic de Pio pendant la tenue de l'occlusive

### II.3.5. Observation du voisement : indice des phénomènes de voisement et de dévoisement

Nous avons observé le tracé de la barre de voisement sur le spectrogramme durant la phase de tenue de l'occlusion pour les répétitions de [apa] et de [aba] pour chacun des locuteurs et dans les deux conditions d'enregistrement (voir figure 17). Nous avons adapté à notre corpus la méthodologie de Snoeren et al. In press, 2005. Les auteurs mesurent la durée de la tenue de l'occlusion et la durée de la présence de la barre de voisement durant la tenue de l'occlusion afin de préciser un rapport qui indique "l'index du degré d'assimilation" relatif au phénomène d'assimilation régressive qui perturbe le voisement des occlusives en position finale de mot en français. Nous utilisons ces calculs afin de rendre compte du taux de voisement d'une occlusive non voisée ou du taux de dévoisement d'une occlusive voisée lorsque ces phénomènes se présentent dans notre corpus.

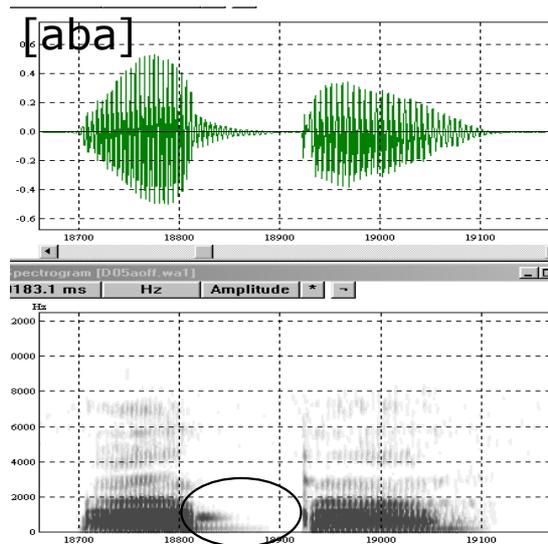


Figure 17 : Observation du voisement

### II.3.6. Test de transcription : taux d'intelligibilité

Nous avons isolé chacune des répétitions des dissyllabes et créer des fichiers individuels pour chaque répétitions. Nous avons proposé l'écoute de toutes les dissyllabes produites par les locuteurs, c'est-à-dire des 800 dissyllabes (10 répétitions de chacune des 4 dissyllabes dans deux conditions d'enregistrements pour 10 sujets) ainsi que des répétitions produites en surnombre, y compris celles qui n'ont pas été prises en compte pour l'analyse des données aérodynamiques, au total 997 occlusives, dans un ordre aléatoire, à un auditeur expérimenté qui avait pour consigne de transcrire l'occlusive de la dissyllabe. L'auditeur pouvait réécouter autant de fois que nécessaire la dissyllabe et choisir le symbole de transcription le plus approprié parmi les 8 proposés :

[p] : occlusive bilabiale non voisée correctement réalisée.

[b] : occlusive bilabiale voisée correctement réalisée.

[ϕ] : occlusive bilabiale non voisée mal réalisée caractérisée par une fermeture incomplète du tractus vocal.

[β] : occlusive bilabiale voisée mal réalisée caractérisée par une fermeture incomplète du tractus vocal.

[f] : fricative bilabiale non voisée

[v] : fricative bilabiale voisée

[p<sup>h</sup>] : occlusive bilabiale non voisée aspirée

[b<sup>h</sup>] : occlusive bilabiale voisée aspirée

L'auditeur pouvait également utiliser les diacritiques des phénomènes de voisement et de dévoisement et avoir recours à d'autres symboles de l'Alphabet Phonétique International

(API) si cela s'avérait nécessaire. Nous pourrions nous rendre compte du taux d'intelligibilité et des différentes réalisations des sujets. Nous observerons l'impact que peuvent avoir des facteurs tels que l'opposition de voisement, le contexte vocalique (voyelle fermée / voyelle ouverte) et l'entraînement (début / fin de tâche de production).

*Pour résumer ...*

10 parkinsoniens dont 5 sont sous traitement médicamenteux et 5 sont appareillés de l'électrode de stimulation ont participé à l'étude. La tâche de production est la répétition des dissyllabes [apa], [aba], [ipi], [ibi] 10 fois chacune. Nous avons enregistré simultanément le signal acoustique, la pression intra-orale et le débit d'air buccal. Nous avons posé différentes étiquettes sur les documents acoustiques et aérodynamiques nous permettant de délimiter les différentes phases de production des occlusives /p/ et /b/. Nous observons la durée de ces phases qui nous informe du comportement des articulateurs, ici des lèvres. Nous observons également la quantité de Dab pendant la phase d'occlusion de l'occlusive qui nous informe de l'efficacité de l'occlusion bilabiale et la valeur maximale de la Pio pendant la phase d'occlusion qui nous informe de l'efficacité de la dynamique respiratoire et de la différenciation de voisement. Nous procéderons à des comparaisons des données entre les groupes de patients afin de quantifier les effets des traitements thérapeutiques sur ces mesures et donc sur la production de parole.

## CHAPITRE V

### Résultats / Données aérodynamiques

Le corpus recueilli auprès des 10 parkinsoniens nous permet d'observer différentes caractéristiques de la production des consonnes occlusives bilabiales /p/ et /b/ en position intervocalique [a-a] et [i-i]. Nous procéderons par comparaison des données issues 1) des enregistrements effectués lorsque les parkinsoniens sont sous l'effet du traitement, c'est-à-dire en situation On et lorsque les parkinsoniens sont sans effet du traitement, c'est-à-dire en situation Off, 2) des enregistrements effectués auprès des parkinsoniens sous traitement pharmaceutique, c'est-à-dire sous traitement dopaminergique et des enregistrements effectués auprès des parkinsoniens sous traitement chirurgical, c'est-à-dire appareillés de l'électrode de stimulation sous-thalamique à haute fréquence. Les résultats seront présentés sous forme de graphiques pour une meilleure lisibilité des tendances générales. Dans un premier temps nous nous contenterons de relever les informations données par les représentations graphiques puis, en fin de paragraphe, nous appuierons nos observations par un traitement statistique des résultats. Les trois variables prises en compte pour l'ANOVA sont Traitement (nature du traitement suivi par le parkinsonien L-Dopa ou SST), Condition (état On ou Off du patient au moment de l'enregistrement), et Voisement (occlusive voisée ou non voisée). L'effet de ces trois variables est testé de façon individuelle puis de façon croisée.

## I. Recueil des données aérodynamiques et temporelles

Nous avons décidé de relever des mesures de durées entre certaines étiquettes et des mesures de valeurs de Pio et de Dab entre et auprès de certaines étiquettes. Les étiquettes ont été placées manuellement d'après la méthodologie de Müller & Brown 1980 et de Gracco et al. 1992 (voir Chapitre V § II.3.) et un script a été spécialement ordonné afin de relever automatiquement :

- dur14 : la durée totale de l'occlusive entre les étiquettes 1 et 4,
- dur15 : la durée de la phase de fermeture entre les étiquettes 1 et 5,
- dur56 : la durée de la phase de tenue entre les étiquettes 5 et 6,
- dur64 : la durée de la phase d'ouverture entre les étiquettes 6 et 4,
- dur36 : la durée de l'intervalle de synchronisation entre les étiquettes 3 et 6,
- dab56 : le débit d'air buccal moyen pendant la phase de tenue entre les étiquettes 5 et 6,
- piop : le maximum de la pression intra-orale à l'étiquette p,
- pio14 : la pression intra-orale moyenne pendant l'occlusive entre les étiquettes 1 et 4.

Les valeurs relevées constituent les données brutes, elles sont reportées dans un tableau qui servira de base pour tous les calculs et traitements statistiques nécessaires à notre étude. Ce tableau est disponible en annexe (tableau 1), il comporte un certain nombre de cases vides dont il est nécessaire d'en expliquer les causes. Selon les consignes les locuteurs doivent réaliser 10 répétitions de chacune des 4 dissyllabe mais ils ont tendance à en produire plus que nécessaire comme nous l'avons expliqué, nous avons donc décidé de prendre en considération les 12 premières répétitions, les cases vides aux 11<sup>ième</sup> et 12<sup>ième</sup> répétitions peuvent correspondre à l'absence de répétition supplémentaire. Par contre, certaines données aérodynamiques ou acoustiques ne permettent pas de positionner l'intégralité de la série d'étiquettes, la cause peut être une défaillance de l'appareillage ou être d'ordre informatique mais le plus souvent il s'agit d'un problème lié soit au déplacement du masque buccal soit à une déformation de la sonde buccale que le locuteur serre trop fort entre ses dents et obstrue. Lorsque l'une des étiquettes ne peut pas être placée, excepté les étiquettes c et r qui sont facultatives, la répétition n'est pas prise en compte. En fonction des disponibilités des locuteurs et des expérimentateurs, une deuxième session d'enregistrement peut être proposée aux parkinsoniens. Cette information apparaît dans le tableau à la colonne session.

## **II. Analyse des données aérodynamiques**

Les données aérodynamiques nous informent de la dynamique respiratoire pendant l'activité de parole.

### **II.1. Analyse de la pression intra-orale**

#### **II.1.1. Analyse de la pression intra-orale maximale pendant la phase de tenue de l'occlusive ou pic de Pio : valeur de la Pio relevée à l'étiquette p**

La valeur maximale de la Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive est relevée pour chaque répétition et des valeurs moyennes sont utilisées afin de procéder à des représentations graphiques. La valeur maximale de la Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive correspond à la valeur à l'emplacement de l'étiquette p sur la courbe de la Pio. Les valeurs sont reportées dans des tableaux. Pour chaque sujet 8 tableaux sont nécessaires. En effet, les 4 premiers tableaux concernent les répétitions de /apa, aba, ipi, ibi/ effectuées lorsque le parkinsonien est en situation Off et les 4 autres tableaux concernent les répétitions de /apa, aba, ipi, ibi/ effectuées lorsque le parkinsonien est en situation On. Les 8 tableaux en annexe (tableaux 2 à 9) sont proposés à titre d'exemple, ils concernent les mesures du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive, c'est-à-dire la valeur de la Pio à l'étiquette p, relevées au cours des répétitions de /apa, aba, ipi, ibi/ pour le sujet 1 sous traitement pharmacologique dopaminergique nommé d01 en état Off et en état On. C'est à partir de ces tableaux que nous procédons à différentes observations et analyses.

##### **II.1.1.1. Pic de Pio selon le traitement et la condition d'enregistrement, toutes répétitions confondues**

Nous observons dans un premier temps le pic de Pio relevé pendant la tenue des occlusives sans faire de distinction entre les deux occlusives /p/ et /b/, sans prendre en compte les contextes vocaliques et sans distinguer les différents locuteurs mais selon le traitement (L-dopa ou stimulation sous-thalamique) et la condition d'enregistrement (On ou Off). La figure 13 représente le pic de Pio pendant la tenue de l'occlusive selon la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

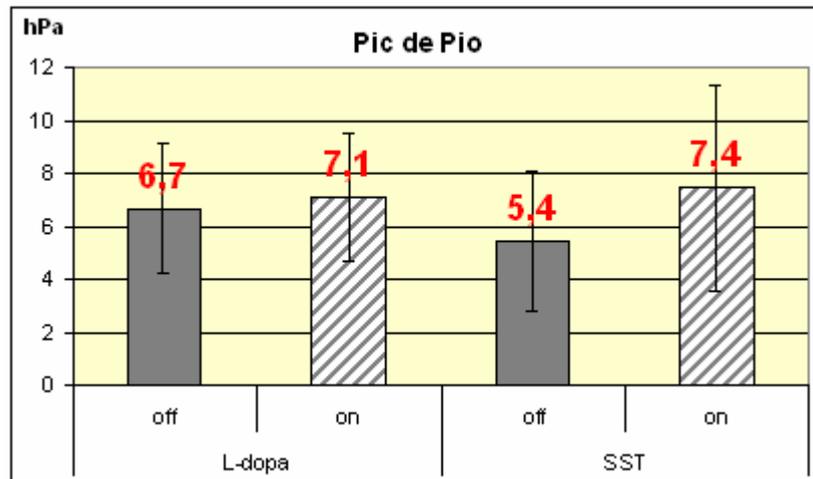


Figure 18 : Représentation graphique du pic de Pio pendant la tenue de l'occlusive pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement

#### Observations :

- En condition Off, le pic de Pio est plus bas pour les parkinsoniens SST que pour les parkinsoniens L-dopa.
- En On, le pic de Pio est pratiquement égal pour les deux groupes de sujets.
- Le pic de Pio relevé pendant la phase de tenue de l'occlusive pendant les répétitions de [apa, aba, ipi, ibi] toutes occlusives et contextes vocaliques confondus est plus important en condition On que en condition Off pour les parkinsoniens L-Dopa et pour les parkinsoniens SST.
- Le pic de Pio montre un écart entre les deux conditions d'enregistrement plus important pour les parkinsoniens SST que pour les parkinsoniens L-dopa.

#### II.1.1.2. Pic de Pio pour /p/ et pour /b/ selon le traitement et la condition d'enregistrement

Nous observons le pic de Pio relevé pendant la tenue des occlusives /p/ et /b/, sans prendre en compte les contextes vocaliques et sans distinguer les différents locuteurs mais selon le traitement (L-dopa ou stimulation sous-thalamique) et la condition d'enregistrement (On ou Off). La figure 14 représente le pic de Pio pendant la tenue de l'occlusive /p/ et /b/, selon la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

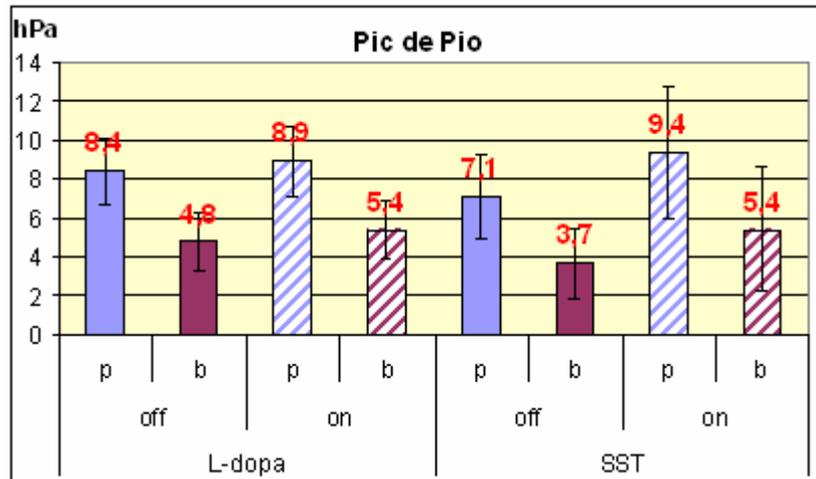


Figure 19: Représentation graphique du pic de Pio pendant la tenue de /p/ et de /b/ pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement

**Observations :**

- Dans les deux conditions d'enregistrement Off et On et pour les deux groupes de sujets L-Dopa et SST, le pic de Pio de /p/ est plus important que celui de /b/.
- Le pic de Pio augmente en On pour les deux occlusives pour les deux groupes de sujets.

**II.1.1.3. Pic de Pio pour les occlusives /p/ et /b/ confondues en contexte vocalique [a\_a] et en contexte vocalique [i\_i] selon le traitement et la condition d'enregistrement**

Nous observons le pic de Pio relevé pendant la tenue des occlusives /p/ et /b/ confondues, selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] et sans distinguer les différents locuteurs mais selon le traitement (L-dopa ou stimulation sous-thalamique) et la condition d'enregistrement (On ou Off). La figure 15 représente le pic de Pio pendant la tenue de l'occlusive, selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

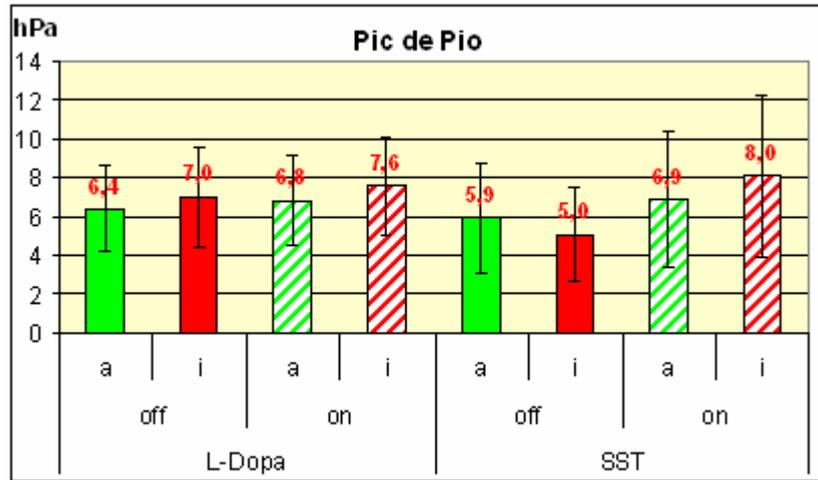


Figure 20 : Représentation graphique du pic de Pio pendant la tenue de l’occlusive en contexte vocalique [a\_a] et [i\_i] pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d’enregistrement

**Observations :**

- En On, le pic de Pio est plus important lorsque les occlusives sont en contexte vocalique [i\_i] que lorsqu’elles sont en contexte vocalique [a\_a] pour les deux groupes de sujets.
- En off, le pic de Pio est plus important lorsque les occlusives sont en contexte vocalique [i\_i] que lorsqu’elles sont en contexte vocalique [a\_a] pour les sujets L-Dopa et inversement pour les sujets SST.

**II.1.1.3.a. Pic de Pio toutes répétitions confondues pour chaque sujet selon la condition d’enregistrement**

La figure 16 représente le pic de Pio pendant la tenue des occlusives /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

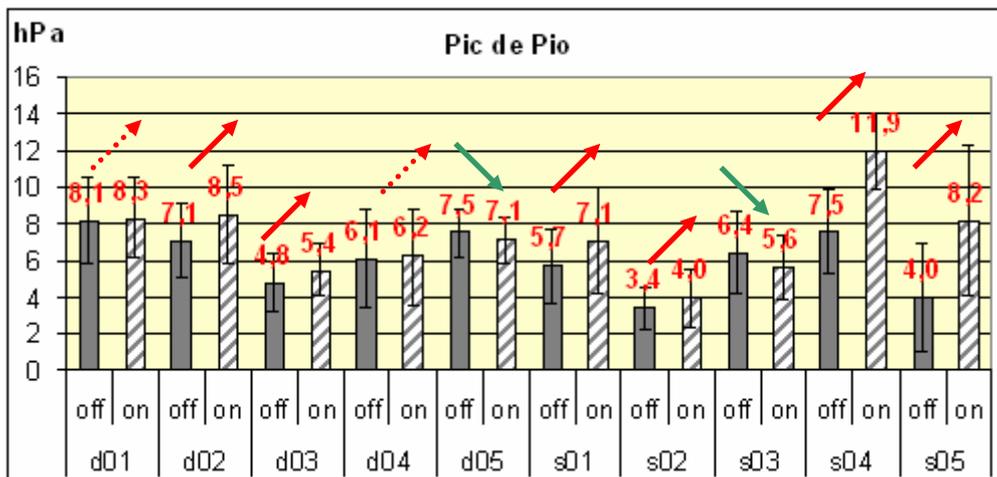


Figure 21 : Représentation graphique du pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

**Observations :**

- En On, le pic de Pio est plus important qu'en Off pour 8 sujets sur 10 (flèches croissantes sur le graphique), pour 2 de ces 8 sujets l'augmentation est très faible car elle est de 0,2 hPa pour d01 et de 0,1 hPa pour d04 (flèches croissantes en pointillés sur le graphique).
- En Off, le pic de Pio est plus important qu'en On pour 2 sujets sur 10 (flèches décroissantes sur le graphique), pour d05 cet écart est de 0,3 hPa et pour s03 de 0,8 hPa.
- Dans les deux situations d'enregistrement, le pic de Pio présente une grande variabilité comme le représente la valeur de l'écart type qui s'étend de 1,1 (s02) à 4,2 (s05).

**II.1.1.3.b. Pic de Pio pour /p/ et pour /b/ pour chaque sujet, selon la condition d'enregistrement**

La figure 17 représente le pic de Pio pendant la tenue des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

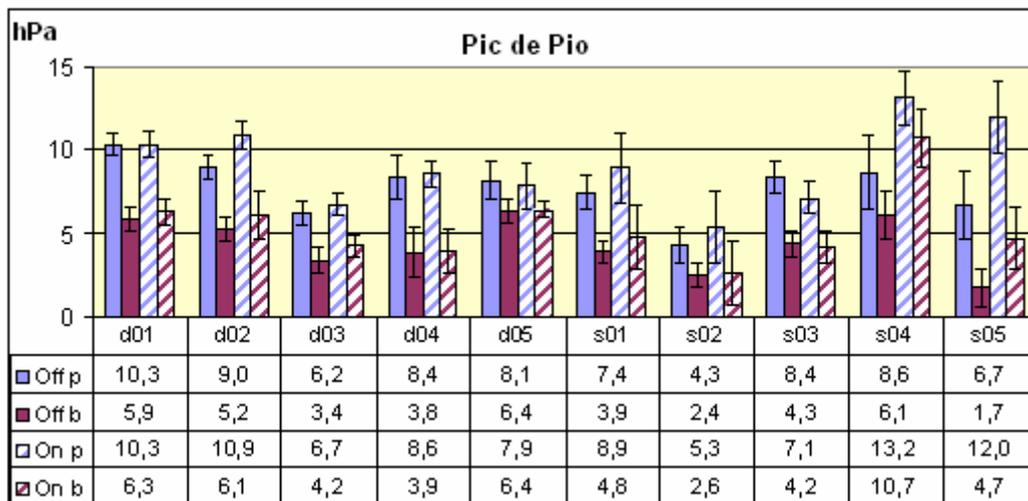


Figure 22 : Représentation graphique du pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

**Observations :**

- Le pic de Pio est plus important en On qu'en Off pour les deux occlusives /p/ et /b/ et l'augmentation semble concerner de la même façon l'occlusive voisée et l'occlusive non voisée.
- En On, le pic de Pio augmente pour l'occlusive non voisée /p/ pour 6 sujets sur 10 et pour l'occlusive voisée /b/ pour 8 sujets sur 10.
- L'observation individuelle montre que l'augmentation peut être légèrement plus importante pour l'une ou l'autre des occlusives selon les sujets mais l'écart entre le pic

de Pio pour l'occlusive voisée et le pic de Pio pour l'occlusive non voisée est sensiblement le même dans les deux conditions d'enregistrement Off et On.

#### II.1.1.4. Pic de Pio pour /p/ et /b/ confondues pour chaque sujet selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement

La figure 18 représente le pic de Pio pendant la tenue de l'occlusive, selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

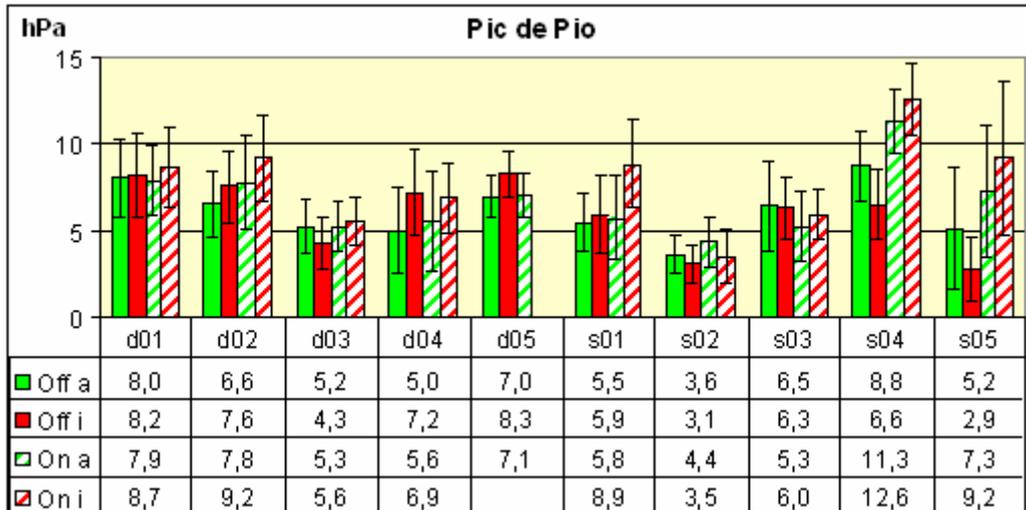


Figure 23 : Représentation graphique du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i-i] pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

#### Observations :

- En On, le pic de Pio est plus important lorsque les occlusives sont en contexte vocalique [i\_i] que lorsqu'elles sont en contexte vocalique [a\_a] sauf pour s02.
- En Off, le pic de Pio est plus important lorsque les occlusives sont en contexte vocalique [i\_i] que lorsqu'elles sont en contexte vocalique [a\_a] pour 5 sujets sur 10.
- Le pic de Pio augmente en On pour les occlusives en contexte vocalique [a\_a] pour 8 sujets sur 10 et pour les occlusives en contexte vocalique [i\_i] pour 7 sujets sur 9.

#### II.1.1.5. Pic de Pio relevé pendant la tenue de l'occlusive pour les répétitions de [apa], [aba], [ipi] et [ibi] pour chacun des 10 sujets selon la condition d'enregistrement.

La figure 19 représente le pic de Pio relevé pendant la tenue de l'occlusive /p/ et /b/ en contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] en condition Off et en condition On pour le sujet d01.

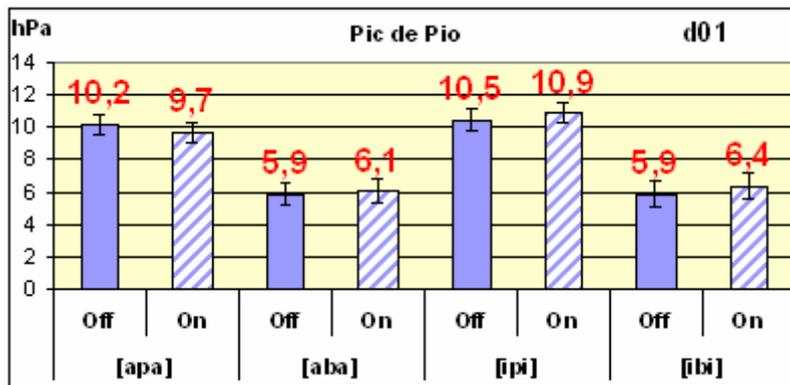


Figure 24 : Représentation graphique du pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet d01

**Observations :**

- Pour le sujet d01, l'écart entre le pic de Pio relevé en Off et celui relevé en On est restreint pour les 4 groupes de répétitions. Le pic de Pio augmente en On pour les répétitions de [aba], [ipi] et [ipi] mais pas pour les répétitions de [apa].
- L'opposition de voisement est marquée en Off et en On avec un pic de Pio plus important pour les /p/ (= environ 10 hPa) que pour les /b/ (= environ 6 hPa).

La figure 20 représente le pic de Pio relevé pendant la tenue de l'occlusive /p/ et /b/ en contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] en condition Off et en condition On pour le sujet d02.

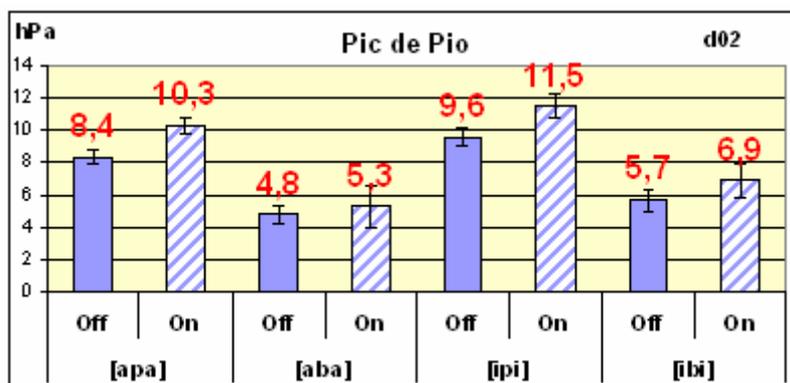


Figure 25 : Pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet d02

**Observations :**

- Pour le sujet d02, le pic de Pio augmente en On pour les 4 groupes de répétitions.
- L'écart entre le pic de Pio pour les occlusives voisées et le pic de Pio pour les occlusives non voisées est présent en Off et en On ; l'opposition de voisement est marquée dans les deux conditions d'enregistrement.

La figure 21 représente le pic de Pio relevé pendant la tenue de l'occlusive /p/ et /b/ en contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] en condition Off et en condition On pour le sujet d03.

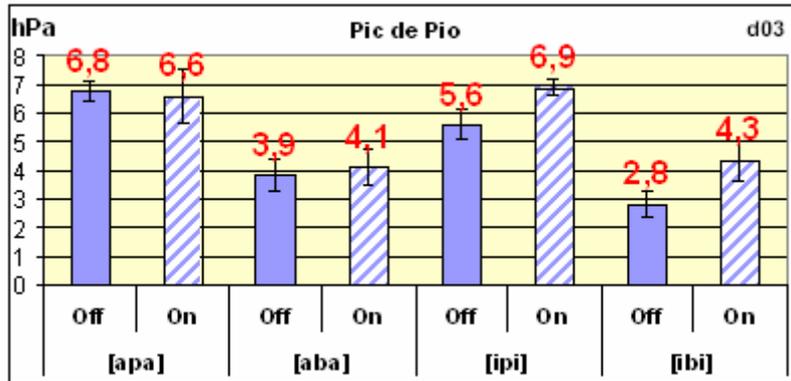


Figure 26 : Pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet d03

**Observations :**

- Pour le sujet d03, le pic de Pio augmente en On pour les répétitions de [aba], [ipi], et [ibi] mais pas pour celles de [apa].
- L'opposition de voisement est marquée dans les deux conditions d'enregistrement.

La figure 22 représente le pic de Pio relevé pendant la tenue de l'occlusive /p/ et /b/ en contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] en condition Off et en condition On pour le sujet d04.

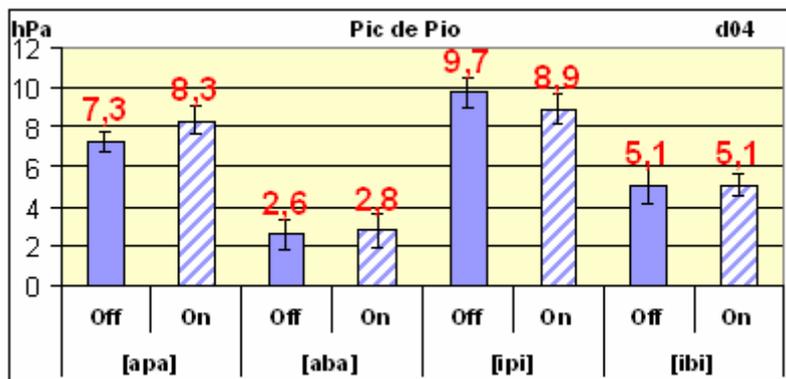


Figure 27 : Pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet d04

**Observations :**

- Pour le sujet d04, le pic de Pio augmente en On pour les répétitions de [apa] et de [aba], il reste stable pour les répétitions de [ibi] et diminue pour les répétitions de [ipi].
- L'opposition de voisement est marquée dans les deux conditions d'enregistrement.

La figure 23 représente le pic de Pio relevé pendant la tenue de l'occlusive /p/ et /b/ en contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] en condition Off et en condition On pour le sujet d05.

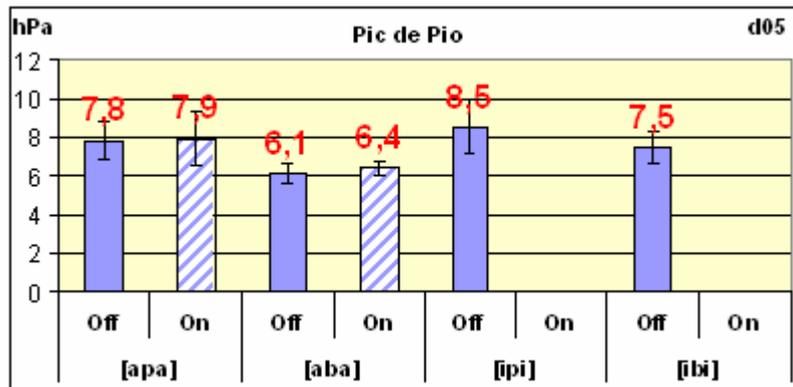


Figure 28 : Pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet d05

**Observations :**

- Pour le sujet d05, le pic de Pio augmente en On pour les répétitions de [apa] et de [aba]. Pour les répétitions de [ipi] et de [ibi], comme nous l'avons expliqué, nous ne disposons d'aucune répétition exploitable en condition On pour d05 et nous ne pouvons pas procéder à cette comparaison.
- L'opposition de voisement est marquée dans les deux conditions d'enregistrement.

La figure 24 représente le pic de Pio relevé pendant la tenue de l'occlusive /p/ et /b/ en contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] en condition Off et en condition On pour le sujet s01.

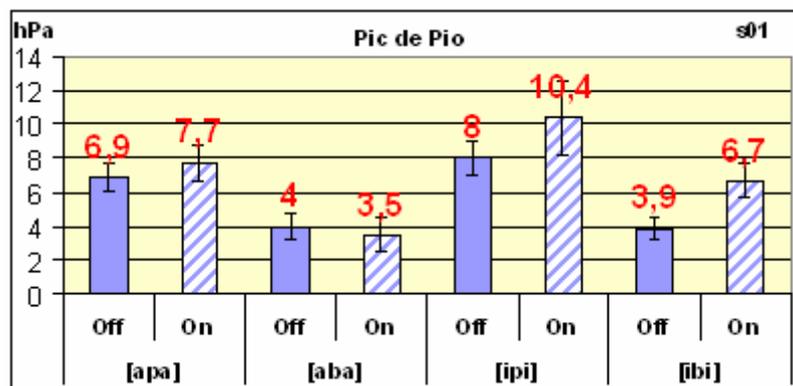


Figure 29 : Pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet s01

**Observations :**

- Pour le sujet s01, le pic de Pio augmente en On pour les répétitions de [apa], [ipi] et [ibi] mais pas pour celles de [aba].
- L'opposition de voisement est marquée dans les deux conditions d'enregistrement.

La figure 25 représente le pic de Pio relevé pendant la tenue de l'occlusive /p/ et /b/ en contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] en condition Off et en condition On pour le sujet s02.

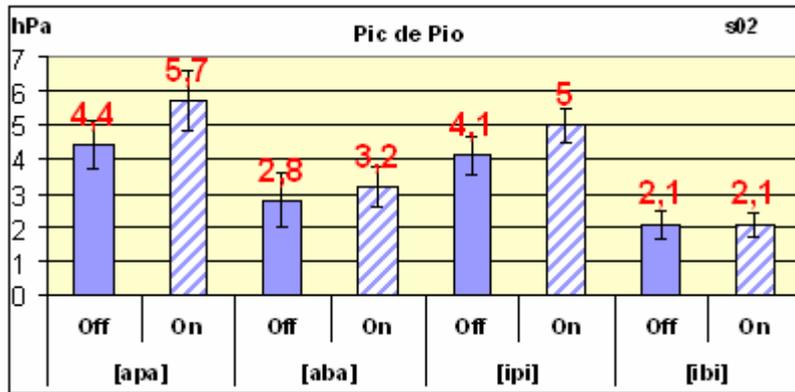


Figure 30 : Pic de Pao pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet s02

**Observations :**

- Pour le sujet s02, le pic de Pao augmente en On pour les répétitions de [apa], [aba] et [ipi], pour celles de [ibi] il reste stable.
- L'opposition de voisement est marquée dans les deux conditions d'enregistrement.

La figure 26 représente le pic de Pao relevé pendant la tenue de l'occlusive /p/ et /b/ en contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] en condition Off et en condition On pour le sujet s03.

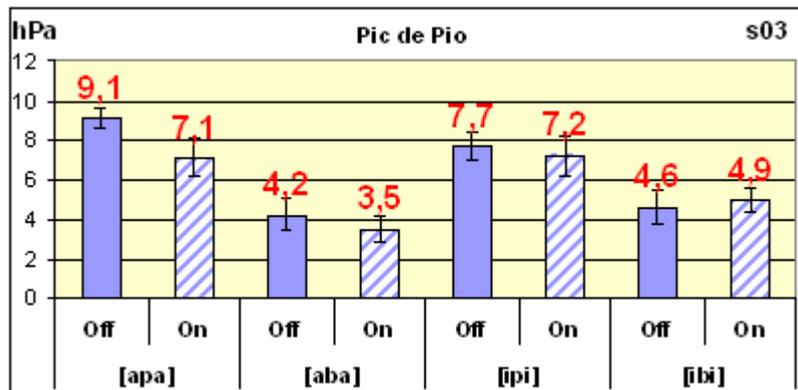


Figure 31 : Pic de Pao pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet s03

**Observations :**

- Pour le sujet s03, le pic de Pao augmente en On uniquement pour les répétitions de [ibi]. Il diminue pour les répétitions de [apa], [aba] et [ipi].
- L'opposition de voisement est marquée dans les deux conditions d'enregistrement.

La figure 27 représente le pic de Pao relevé pendant la tenue de l'occlusive /p/ et /b/ en contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] en condition Off et en condition On pour le sujet s04.

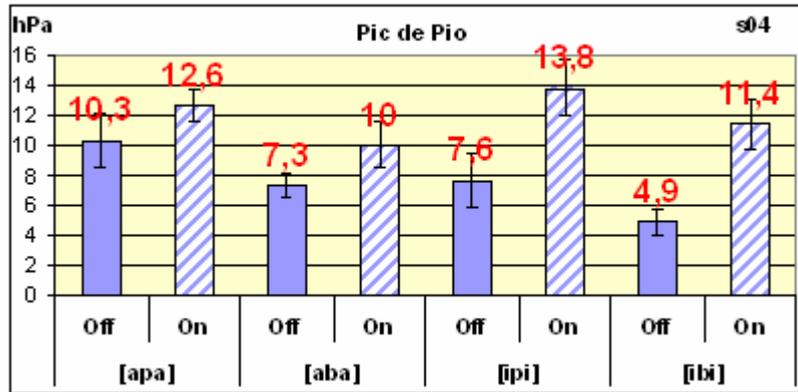


Figure 32 : Pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet s04

**Observations :**

- Pour le sujet s04, le pic de Pio augmente en On pour les répétitions des 4 dissyllabes.
- L'opposition de voisement est marquée dans les deux conditions d'enregistrement.

La figure 28 représente le pic de Pio relevé pendant la tenue de l'occlusive /p/ et /b/ en contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] en condition Off et en condition On pour le sujet s05.

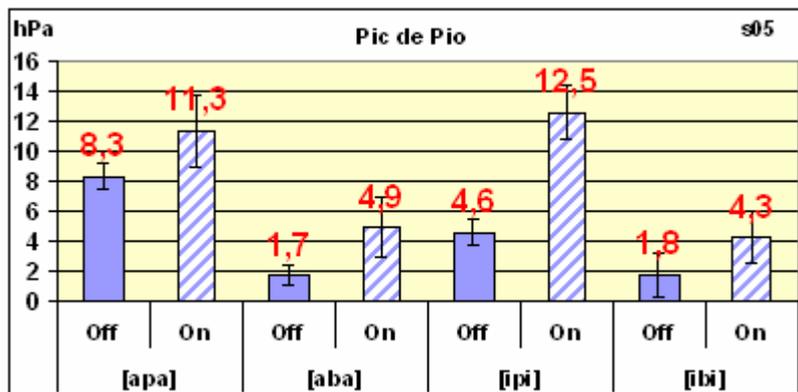


Figure 33 : Pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet s05

**Observations :**

- Pour ce sujet, le pic de Pio augmente en On pour les répétitions des 4 dissyllabes.
- L'opposition de voisement est marquée dans les deux conditions d'enregistrement.

**Pour Résumer :**

Le pic de Pio augmente en On pour d01 sauf pour les répétitions de [apa] (dont le pic de Pio diminue), pour d02, pour d03 sauf pour les répétitions de [apa] (dont le pic de Pio reste stable), pour d04 sauf pour les répétitions de [ipi] (dont le pic de Pio diminue) et de [ibi] (dont le pic de Pio reste stable), pour d05 (mais nous ne disposons d'aucune données pour les

répétitions de [ipi] et de [ibi] en On), pour s01 sauf pour les répétitions de [aba] (dont le pic de Pio diminue), pour s02 sauf pour les répétitions de [ibi] (dont le pic de Pio reste stable), pour s03 uniquement pour les répétitions de [ibi] (pour les autres répétitions le pic de Pio diminue), pour s04 et pour s05.

**D'après les données statistiques :**

L'ANOVA montre un effet fortement significatif de la variable « voisement » et une interaction entre « traitement » et « condition ».

Cette interaction est liée au fait que la Pio présente des différences en fonction de la variable « condition » pour le traitement SST seulement. Un t-test apparié montre que pour le traitement SST, la différence entre le pic de PIO observé en condition On et celui observé en condition Off est significative.

**Le pic de PIO est significativement plus élevé pour la consonne non-voisée que pour la consonne voisée**

**Pic de Pio /p/ > pic de Pio /b/**

**(F(1,72)=42,066, p<.0001)**

**par ailleurs, il augmente de manière légèrement significative en condition On par comparaison avec la condition Off**

**Pic de Pio Off < Pic de Pio On**

**(F(1,72)=4,422, p<.04)**

**et de façon significative seulement pour les parkinsoniens SST**

**Pic de Pio Off SST < Pic de Pio On SST**

**(t(19)=3.4283, p<.005)**

**Remarques :**

- L'observation d'un pic de Pio plus important en On peut être la conséquence
  - d'une meilleure réalisation de l'occlusion articulaire qui, en évitant les fuites d'air permet à la Pio derrière le point d'occlusion d'atteindre des valeurs plus élevées. Cette hypothèse sera approfondie avec l'observation des indices de fuite donnés par l'analyse du Dab pendant la phase de tenue de l'occlusive.
  - d'une meilleure gestion du souffle ; une pression intrapulmonaire plus importante permet un pic de Pio plus important au relâchement de l'occlusion.
- L'observation d'un pic de Pio plus important en On peut être une raison suffisante pour prédire un bruit d'explosion plus important au relâchement de l'occlusion articulaire.
- Le pic de Pio est toujours supérieur pour /p/ par rapport à /b/ pour chacun des 10 sujets ; l'opposition de voisement est effective quels que soient la condition d'enregistrement et le type de traitement.

**II.1.2. Analyse de la pression intra-orale pendant toute la durée de l'occlusive :  
Pio moyenne relevée entre les étiquettes 1 et 4**

Nous avons voulu observer le comportement de la Pio pendant toute la durée de l'occlusive. Nous relevons une valeur moyenne de la Pio entre les étiquettes 1 et 4. A partir de ces valeurs moyennes nous procédons à différentes observations et analyses.

**II.1.2.1. Pio moyenne selon le traitement et la condition d'enregistrement,  
toutes répétitions confondues**

Nous observons la Pio moyenne relevée pendant toute la durée de l'occlusive sans faire de distinction entre les deux occlusives /p/ et /b/, sans prendre en compte les contextes vocaliques et sans distinguer les différents locuteurs mais selon le traitement (L-dopa ou stimulation sous-thalamique) et la condition d'enregistrement (On ou Off). La figure 29 représente la Pio moyenne pendant toute la durée de l'occlusive selon la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

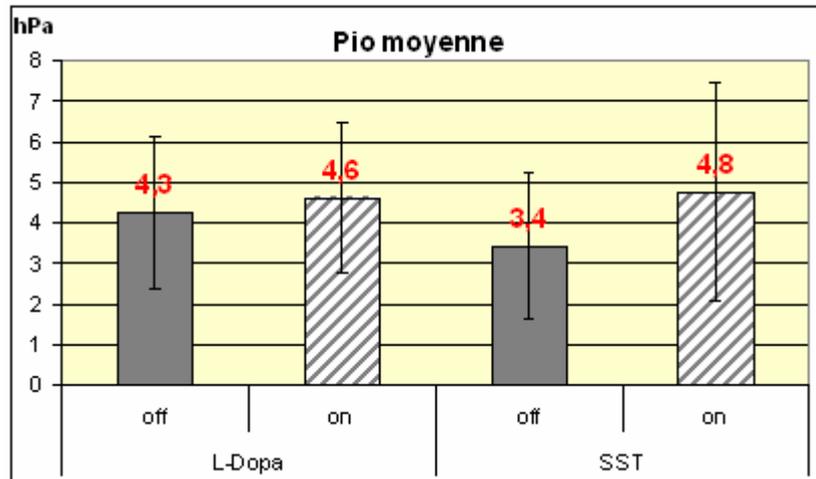


Figure 34 : Représentation graphique de la Pio moyenne pendant toute la durée de l'occlusive pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement

#### Observations :

- En condition Off, la Pio moyenne est plus basse pour les parkinsoniens SST que pour les parkinsoniens L-dopa.
- En On, la Pio moyenne est pratiquement égale pour les deux groupes de sujets.
- La Pio moyenne relevée pendant toute la durée de l'occlusive pendant les répétitions de [apa, aba, ipi, ibi] toutes occlusives et contextes vocaliques confondus est plus importante en condition On que en condition Off pour les parkinsoniens L-Dopa et pour les parkinsoniens SST.
- La Pio moyenne montre un écart entre les deux conditions d'enregistrement plus important pour les parkinsoniens SST que pour les parkinsoniens L-dopa.

#### II.1.2.2. Pio moyenne pour /p/ et pour /b/ selon le traitement et la condition d'enregistrement

Nous observons la Pio moyenne relevée pendant toute la durée des occlusives /p/ et /b/, sans prendre en compte les contextes vocaliques et sans distinguer les différents locuteurs mais selon le traitement (L-dopa ou stimulation sous-thalamique) et la condition d'enregistrement (On ou Off). La figure 30 représente la Pio moyenne pendant toute la durée des occlusives /p/ et /b/, selon la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

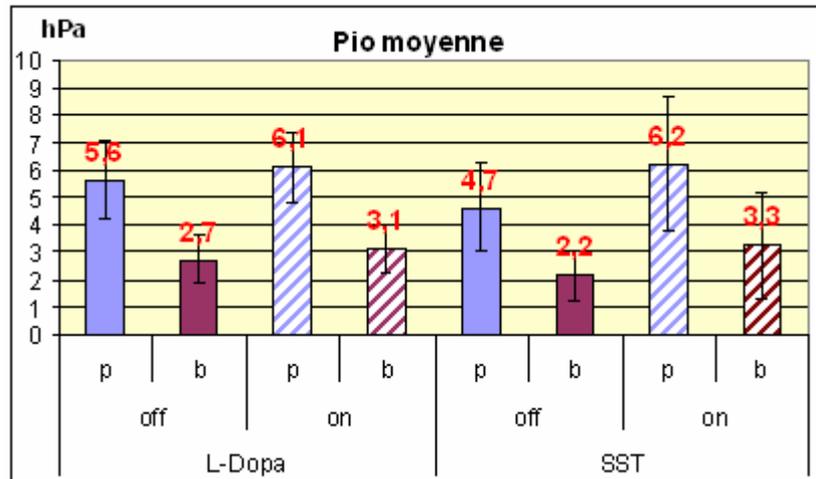


Figure 35 : Représentation graphique de la Pio moyenne pendant toute la production de /p/ et de /b/ pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement

**Observations :**

- Dans les deux conditions d'enregistrement Off et On et pour les deux groupes de sujets L-Dopa et SST, la Pio moyenne relevée au cours de la production de /p/ est plus importante que celle relevée au cours de la production de /b/.
- La Pio moyenne augmente en On pour les deux occlusives pour les deux groupes de sujets.

**II.1.2.3. Pio moyenne durant la production des occlusives /p/ et /b/ confondues en contexte vocalique [a\_a] et en contexte vocalique [i\_i] selon la condition d'enregistrement**

Nous observons la Pio moyenne relevée pendant la production des occlusives /p/ et /b/ confondues, selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] et sans distinguer les différents locuteurs mais selon le traitement (L-dopa ou stimulation sous-thalamique) et la condition d'enregistrement (On ou Off). La figure 31 représente la Pio moyenne pendant la production de l'occlusive, selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

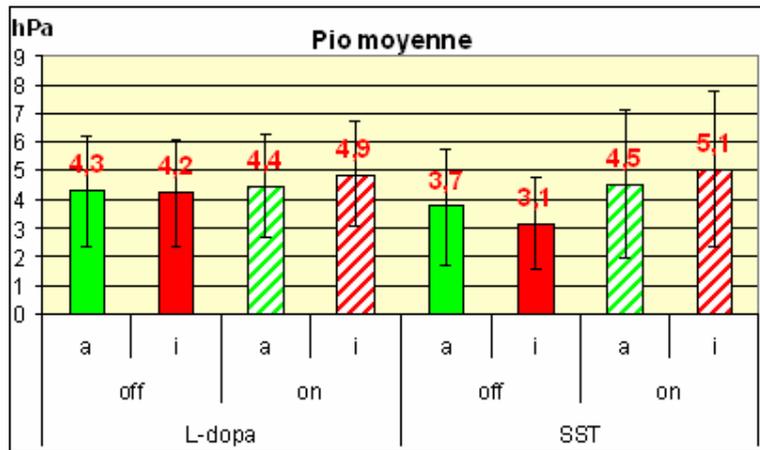


Figure 36 : Représentation graphique de la Pio moyenne pendant la production de l’occlusive en contexte vocalique [a\_a] et [i\_i] pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d’enregistrement

**Observations :**

- En On, la Pio moyenne est plus importante lorsque les occlusives sont en contexte vocalique [i\_i] que lorsqu’elles sont en contexte vocalique [a\_a] pour les deux groupes de sujets.
- En off, la Pio moyenne est plus importante lorsque les occlusives sont en contexte vocalique [a\_a] que lorsqu’elles sont en contexte vocalique [i\_i] pour les deux groupes de sujets.

**II.1.2.4. Pio moyenne toutes répétitions confondues pour chaque sujet selon la condition d’enregistrement**

La figure 32 représente la Pio moyenne pendant la production des occlusives /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

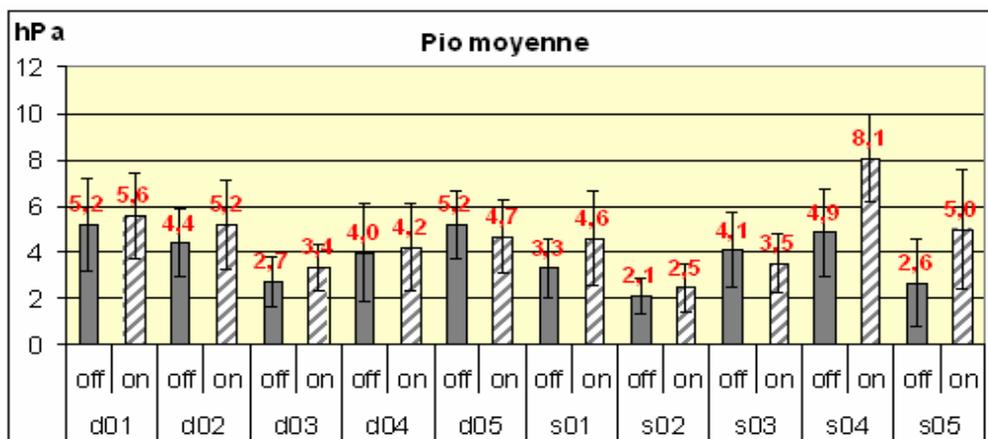


Figure 37 : Représentation graphique de la Pio moyenne pendant la production des occlusives /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

**Observations :**

- La Pio moyenne augmente en On pour 8 sujets sur 10 et diminue pour 2 sujets sur 10.

**II.1.2.5. Pio moyenne pour /p/ et pour /b/ pour chaque sujet selon la condition d'enregistrement**

La figure 33 représente la Pio moyenne pendant la production des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

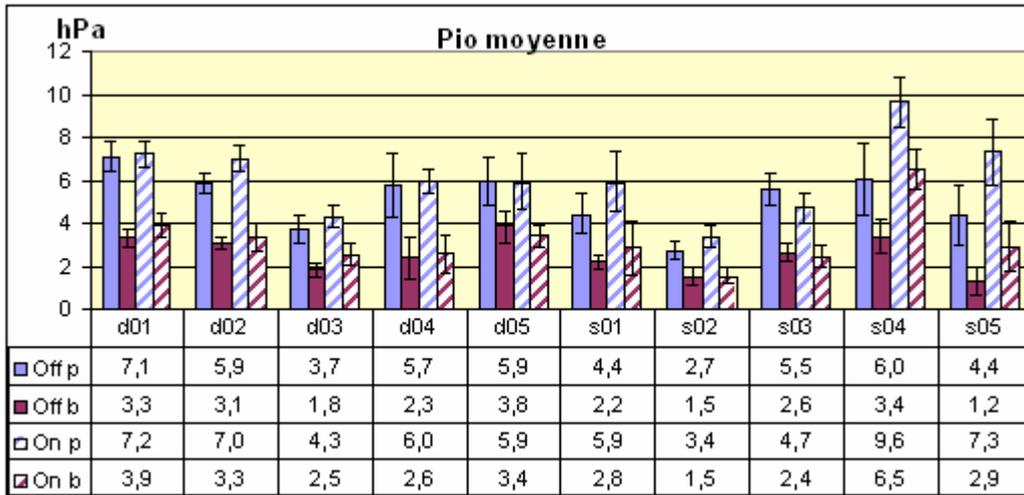


Figure 38 : Représentation graphique de la Pio moyenne pendant la production des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

**Observations :**

- La Pio moyenne est plus importante en On qu'en Off pour les deux occlusives /p/ et /b/ et l'augmentation semble concerner de la même façon l'occlusive voisée et l'occlusive non voisée sauf pour les deux sujets d05 et s03.
- L'écart entre la Pio moyenne pour l'occlusive voisée et la Pio moyenne pour l'occlusive non voisée est sensiblement le même dans les deux conditions d'enregistrement Off et On.

**II.1.2.6. Pio moyenne pour /p/ et /b/ confondues pour chaque sujet selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement**

La figure 34 représente la Pio moyenne pendant la production de l'occlusive, selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

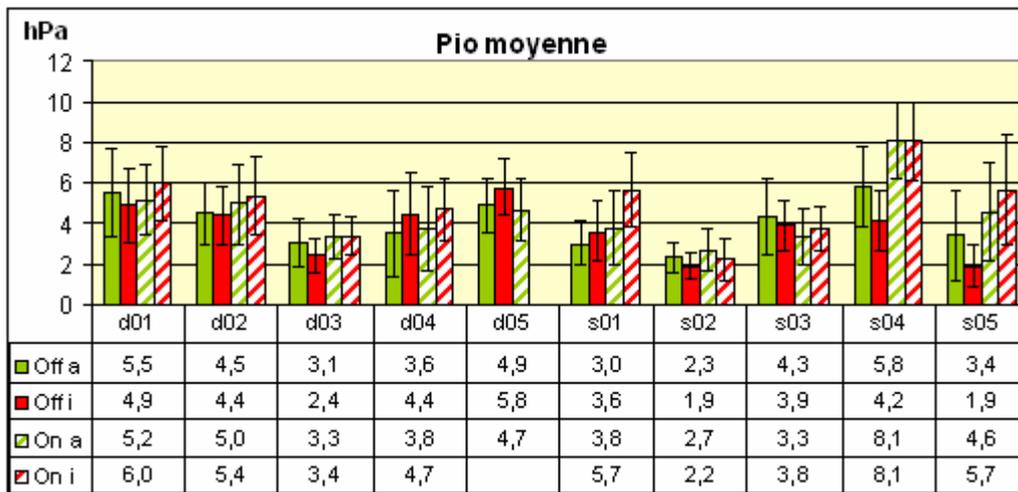


Figure 39 : Représentation graphique de la Pio moyenne pendant la production des occlusives selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i-i] pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

**Observations :**

- En On, la Pio moyenne est plus importante lorsque les occlusives sont en contexte vocalique [i\_i] que lorsqu'elles sont en contexte vocalique [a\_a] sauf pour s02 et s04.
- En Off, la Pio moyenne est plus importante lorsque les occlusives sont en contexte vocalique [a\_a] que lorsqu'elles sont en contexte vocalique [i\_i] pour 7 sujets sur 10.
- La Pio moyenne augmente en On pour les occlusives en contexte vocalique [a\_a] pour 7 sujets sur 10 et pour les occlusives en contexte vocalique [i\_i] pour 8 sujets sur 9.

**D'après les données statistiques :**

L'ANOVA montre que seul la variable « Voisement » a un effet significatif sur la Pio moyenne. D'autre part, une interaction légèrement significative ressort aussi entre « Traitement » et « Condition ». Cette interaction est liée au fait que la Pio moyenne augmente dans la condition On vis-à-vis de la condition Off pour le traitement SST mais pas pour le traitement L-Dopa. Lorsqu'on examine l'effet de la condition sur la Pio moyenne pour le traitement SST séparément, au moyen d'un t test apparié, cet effet se montre significatif.

**La Pio moyenne est significativement plus élevée pour les occlusives non-voisées que pour les voisées.**

$$\text{Pio14 /p/} > \text{Pio14 /b/}$$

$$(F(1,72)=53.136, p<.0001)$$

**La Pio moyenne augmente de façon légèrement significative en condition On par rapport à la condition Off**

$$\text{Pio14 Off} < \text{Pio14 On}$$

$$(F(1,72)=4.197, p<.05)$$

**et de façon significative seulement pour les parkinsoniens SST**

$$\text{Pio14 Off SST} < \text{Pio14 On SST}$$

$$(t(19)=3.5749, p<.005)$$

**Remarques :**

- L'observation d'une Pio moyenne plus importante en On peut être la conséquence
  - d'une meilleure réalisation de l'occlusion articulaire.
  - d'une meilleure gestion du souffle.
- L'opposition entre l'occlusive voisée et l'occlusive non voisée est conservée par tous les sujets dans les deux conditions d'enregistrement avec une Pio moyenne toujours supérieure pour /p/ par rapport à /b/.

## **II.2. Analyse du débit d'air buccal pendant la phase de tenue de l'occlusive**

Nous avons relevé une valeur moyenne du Dab entre les étiquettes 5 et 6 qui délimitent la phase de tenue de l'occlusive. Pendant la phase de tenue de l'occlusive le Dab est idéalement nul. Entre les étiquettes 5 et 6, le Dab est relativement stable puisque les étiquettes 5 et 6 délimitent un plateau de valeurs que le Dab maintient pendant un laps de temps. Le Dab relevé pendant la phase de tenue de l'occlusive est un indicateur de fuite.

### **II.2.1. Dab moyen selon le traitement et la condition d'enregistrement, toutes répétitions confondues**

La figure 35 représente le Dab moyen pendant la tenue de l'occlusive selon la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

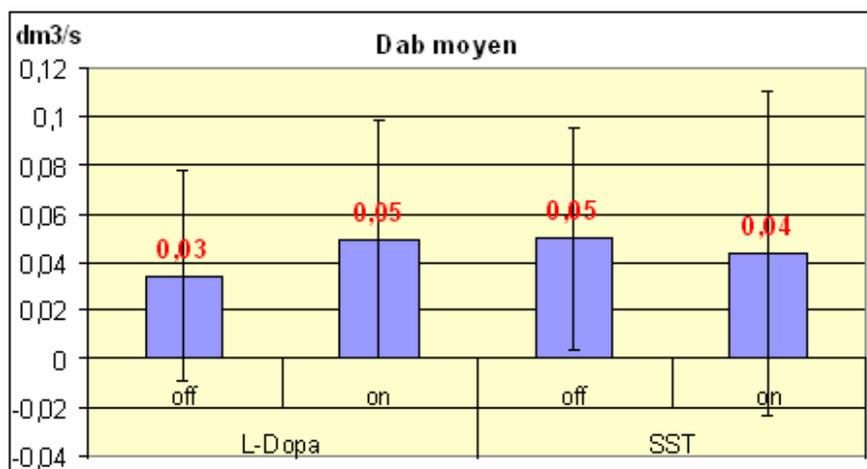


Figure 40 : Représentation graphique du Dab moyen pendant la tenue de l'occlusive pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement

**Observations :**

- Le Dab recueilli pendant la phase de tenue de l'occlusive représente une fuite d'air anormale mais de faible quantité, en effet le Dab moyen relevé est de 0,03 à 0,05 dm<sup>3</sup>/s.
- L'écart type montre une grande variabilité du Dab qui peut atteindre jusqu'à 0,11 dm<sup>3</sup>/s et descendre dans des valeurs négatives jusqu'à -0,02 dm<sup>3</sup>/s.
- En condition Off, le Dab est plus important pour les parkinsoniens SST que pour les parkinsoniens L-dopa.
- En condition On, le Dab est plus faible pour les parkinsoniens SST que pour les parkinsoniens L-dopa.
- En On, le Dab augmente pour les sujets L-Dopa et diminue pour les sujets SST.

**II.2.2. Dab moyen pour /p/ et pour /b/ selon le traitement et la condition d'enregistrement**

La figure 36 représente le Dab moyen pendant la tenue de l'occlusive /p/ et /b/, selon la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

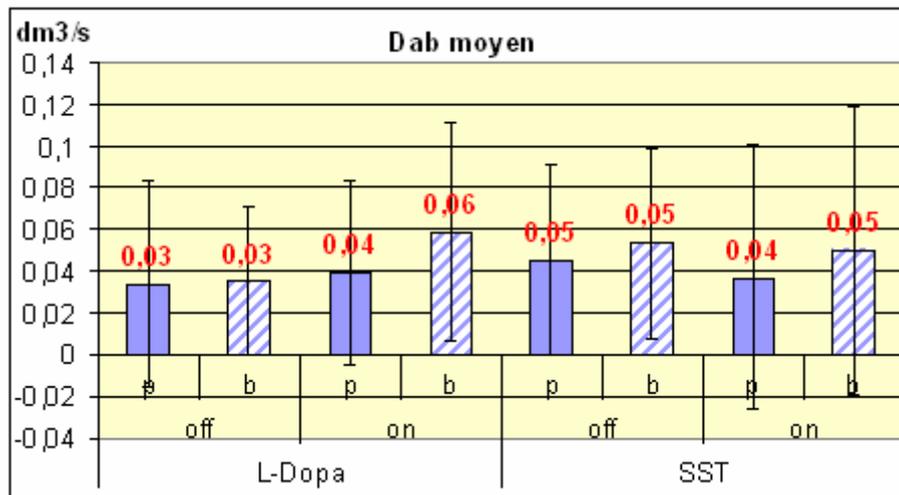


Figure 41 : Représentation graphique du Dab moyen pendant la tenue de /p/ et de /b/ pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement

**Observations :**

- En Off, le Dab relevé pendant la phase de tenue pour /p/ et celui relevé pendant la phase de tenue pour /b/ ne varient pas pour les deux groupes de sujets.
- En On, le Dab relevé pendant la phase de tenue pour /b/ est plus important que celui relevé pendant la phase de tenue pour /p/ pour les deux groupes de sujets.
- En Off, le Dab est moins important chez les sujets L-Dopa que chez les sujets SST pour /p/ et pour /b/.
- Pour les parkinsoniens L-Dopa, le Dab augmente en On pour /p/ et /b/.
- Pour les parkinsoniens SST, le Dab diminue pour /p/ et reste stable pour /b/.

**II.2.3. Dab moyen pour les occlusives /p/ et /b/ confondues en contexte vocalique [a\_a] et en contexte vocalique [i\_i] selon le traitement et la condition d'enregistrement**

La figure 37 représente le Dab moyen pendant la tenue de l'occlusive, selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

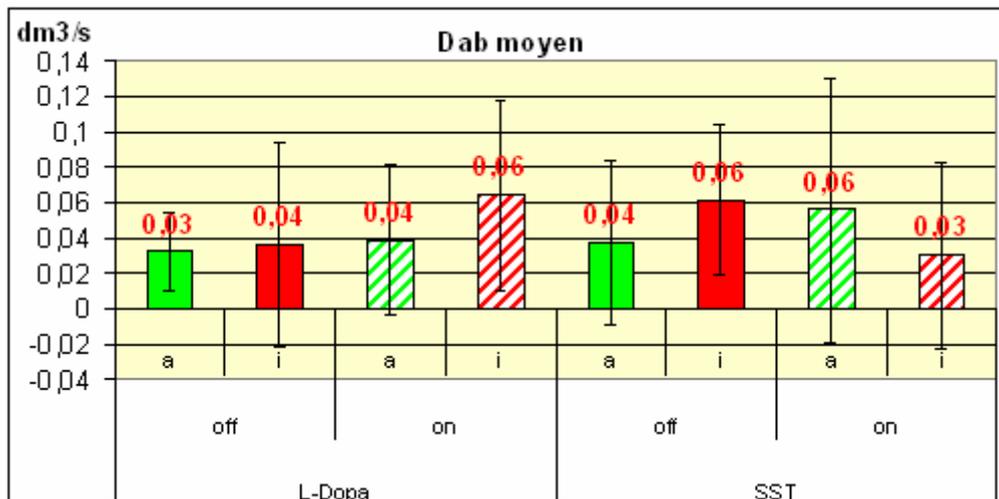


Figure 42 : Représentation graphique du Dab moyen pendant la tenue de l'occlusive en contexte vocalique [a\_a] et [i\_i] pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement

**Observations :**

- Pour les parkinsoniens L-Dopa, le Dab est moins important pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] que pour celles en contexte vocalique [i-i] en Off et en On.
- Pour les parkinsoniens SST, le Dab est moins important pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] que pour celles en contexte vocalique [i-i] en Off et inversement en On.
- Pour les parkinsoniens L-Dopa, le Dab augmente pour les occlusives dans les deux contextes vocaliques. L'augmentation est plus importante pour les occlusives en contexte vocalique [i\_i] que pour celles en contexte vocalique [a\_a].
- Pour les parkinsoniens SST, le Dab augmente pour les occlusives en contexte vocalique [a\_a] et diminue pour les occlusives en contexte vocalique [i\_i].

**II.2.4. Dab moyen toutes répétitions confondues pour chaque sujet selon la condition d'enregistrement**

La figure 38 représente le Dab moyen pendant la tenue des occlusives /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

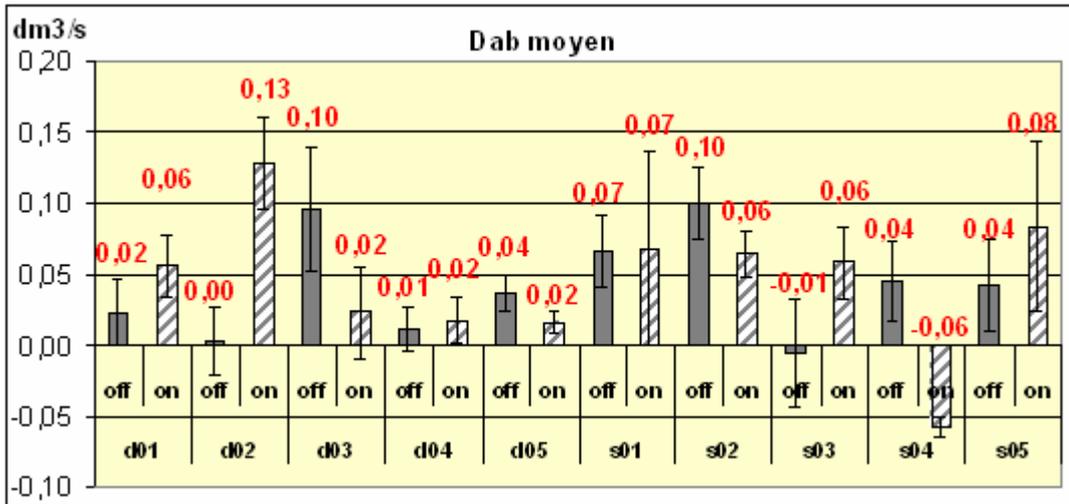


Figure 43 : Représentation graphique du Dab moyen pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

**Observations :**

- Le Dab augmente en condition On pour 5 sujets sur 10, il diminue pour 4 sujets sur 10 et reste stable pour 1 sujet.
- Les valeurs négatives du débit peuvent provenir d'un effet d'appel d'air du au masque en silicone ou d'un problème de paramétrage.

**II.2.5. Dab moyen pour /p/ et pour /b/ pour chaque sujet, selon la condition d'enregistrement**

La figure 39 représente le Dab moyen pendant la tenue des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

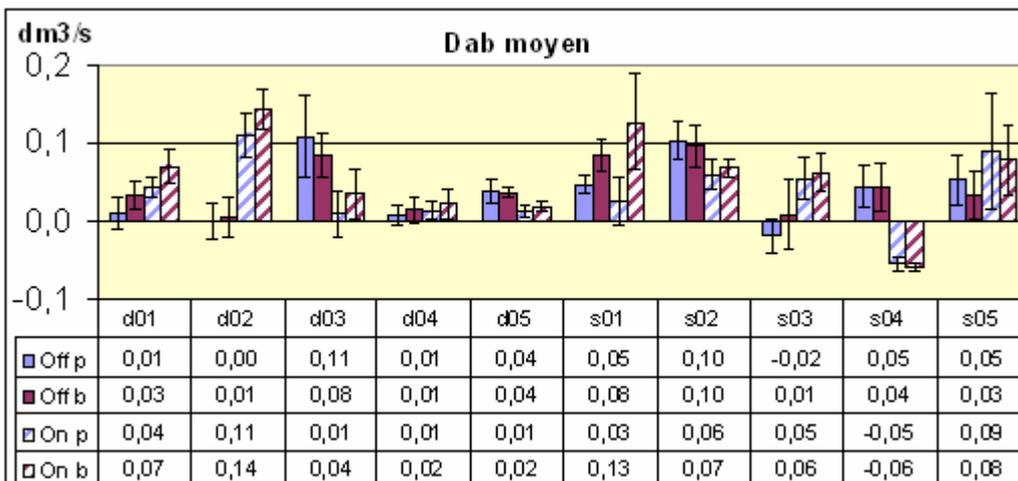


Figure 44 : Représentation graphique du Dab moyen pendant la phases de tenue des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

**Observations :**

- En Off, le Dab est plus important pour /b/ que pour /p/ pour 4 sujets sur 10.

- En On, le Dab est plus important pour /b/ que pour /p/ pour 8 sujets sur 10.
- Pour l'occlusive /p/, le Dab augmente en condition On chez 4 sujets sur 10.
- Pour l'occlusive /b/, le Dab augmente en condition On chez 6 sujets sur 10.

### II.2.6. Dab moyen pour /p/ et /b/ confondues pour chaque sujet selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement

La figure 40 représente le Dab moyen pendant la tenue de l'occlusive, selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

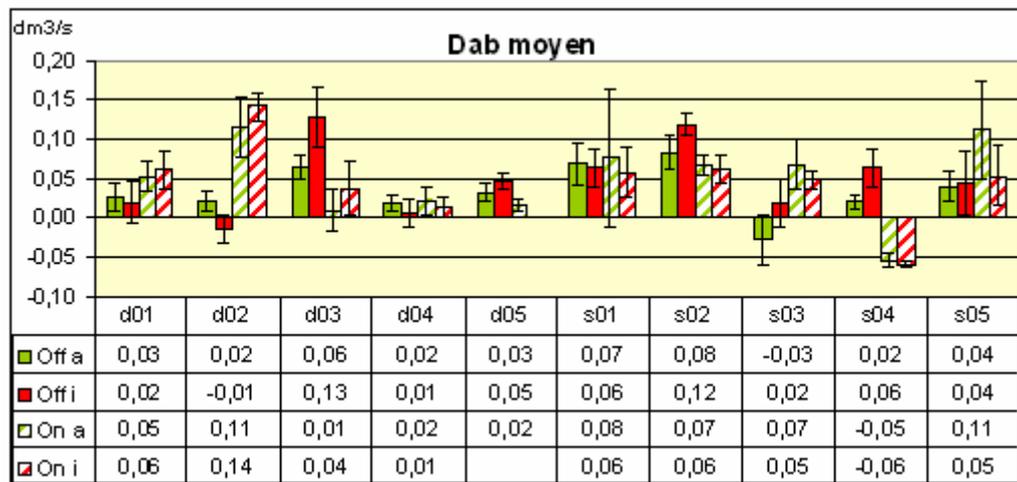


Figure 45 : Représentation graphique du Dab moyen pendant la phase de tenue de l'occlusive selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

#### Observations :

- En Off, le Dab pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] est plus important que celui pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] pour 4 sujets sur 10.
- En On, le Dab pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] est plus important que celui pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] pour 6 sujets sur 9.
- Pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] le Dab augmente en On chez 5 sujets sur 10.
- Pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] le Dab augmente en condition On chez 4 sujets sur 9.

#### D'après les données statistiques :

**Les traitements statistiques ne montrent aucune différence significative.**

**Remarques :**

- L'observation d'une diminution du Dab moyen pendant la durée de la phase de tenue de l'occlusive en condition On semble n'être effective que chez certains sujets et est d'une ampleur variable selon les sujets.
- Cette diminution du Dab moyen pendant la phase de tenue de l'occlusive, témoin d'une diminution de la fuite d'air et d'une meilleure réalisation de l'occlusion de la part des articulateurs sous l'effet du traitement, n'est pas significative.

### III. Analyse des données temporelles

#### III.1. Analyse de la durée totale de l'occlusive

L'occlusive est délimitée par les étiquettes 1 et 4. Nous avons relevé la durée de chacune des occlusives en ms et nous avons observé l'influence de différents facteurs.

##### III.1.1. Durée de l'occlusive selon le traitement et la condition d'enregistrement

La figure 41 représente la durée totale de l'occlusive, /p/ et /b/ confondues, contexte vocaliques confondus, selon la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

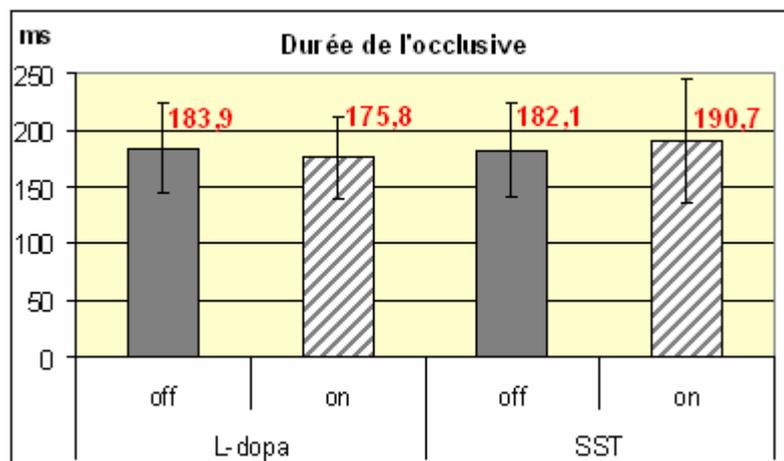


Figure 46 : Représentation graphique de la durée totale de l'occlusive pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement

#### Observations :

- L'écart type montre une grande variabilité de la durée totale de l'occlusive.
- En Off, l'occlusive est sensiblement de même durée pour les deux groupes de sujets.
- En On, l'occlusive est de plus longue durée pour les sujets SST que pour les sujets L-Dopa.
- En On, la durée de l'occlusive diminue pour les sujets L-Dopa et augmente pour les sujets SST.

##### III.1.2. Durée des occlusives /p/ et /b/ selon le traitement et la condition d'enregistrement

La figure 42 est la représentation graphique de la durée des occlusives /p/ et /b/, selon la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

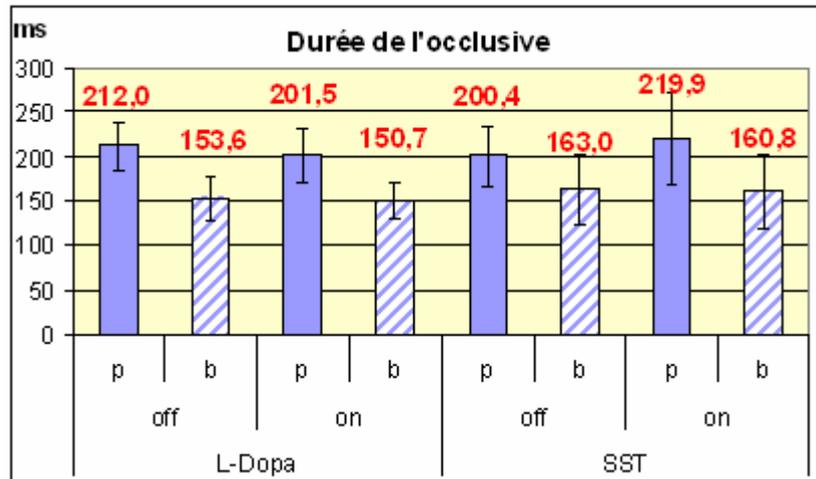


Figure 47 : Durée totale des occlusives /p/ et /b/ pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement

**Observations :**

- La durée totale de l'occlusive est plus courte pour l'occlusive voisée /b/ que pour l'occlusive non voisée /p/ quelle que soit la situation d'enregistrement et quel que soit le traitement.
- La durée de l'occlusive /p/ diminue en On L-dopa et augmente en On SST.
- La durée de l'occlusive /b/ diminue en On pour les deux groupes de sujets.

**III.1.3. Durée de l'occlusive, /p/ et /b/ confondues, en contexte vocalique [a\_a] et en contexte vocalique [i\_i] selon la condition d'enregistrement**

La figure 43 représente la durée totale de l'occlusive, /p/ et /b/ confondues, selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

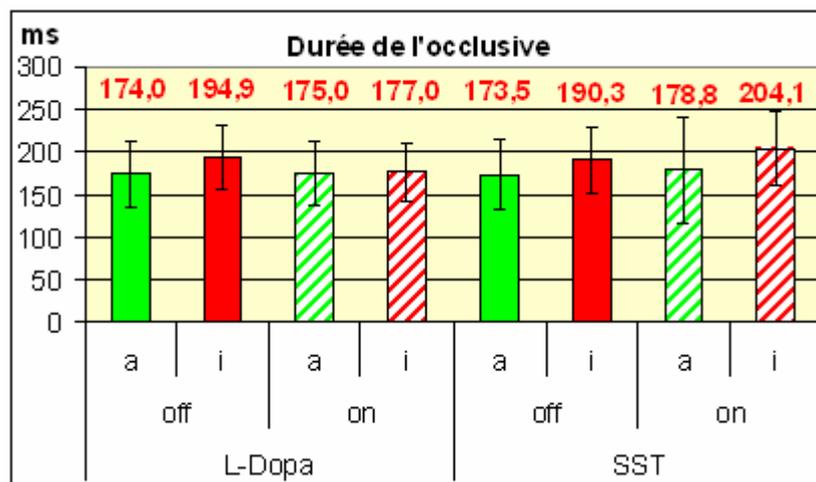


Figure 48 : Durée de l'occlusive /p/ ou /b/ pour chaque sujet, tous contextes vocaliques confondus, selon la situation d'enregistrement

**Observations :**

- La durée de l'occlusive est plus courte pour les occlusives en contexte vocalique [a\_a] que celles en contexte vocalique [i-i] quelle que soit la condition d'enregistrement et quel que soit le type de traitement.
- La durée des occlusives en contexte vocalique [a\_a] augmente en On pour les deux groupes de sujets, la durée des occlusives en contexte vocalique [i-i] diminue en On L-dopa et augmente en On SST.

### III.1.4. Durée de l'occlusive toutes répétitions confondues pour chaque sujet selon la condition d'enregistrement

La figure 44 représente la durée de l'occlusive, /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

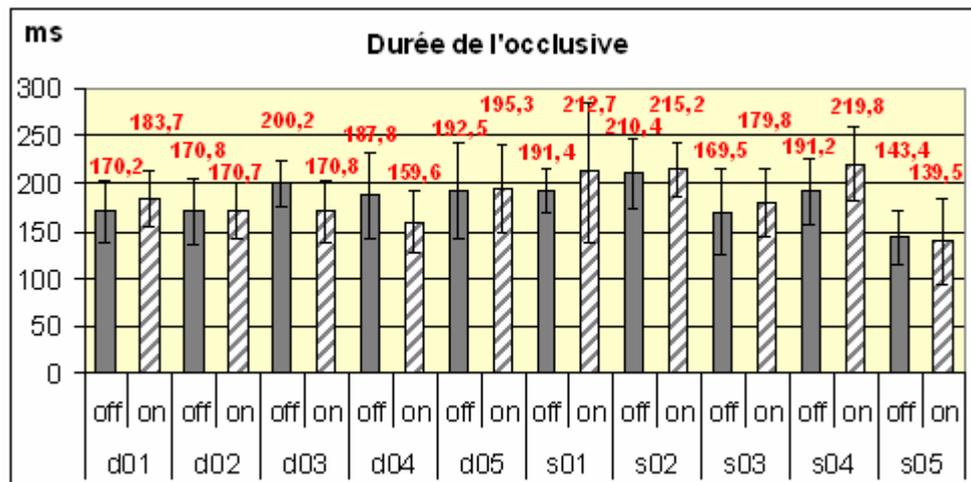


Figure 49 : Représentation graphique de la durée des occlusives /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

#### Observations :

- L'écart type témoigne de la grande variabilité de la durée de l'occlusive.
- La durée de l'occlusive augmente en On pour 6 sujets et diminue pour 4 sujets (dont 3 sujets L-Dopa et 1 SST).

### III.1.5. Durée des occlusives /p/ et /b/ pour chaque sujet selon la condition d'enregistrement

La figure 45 représente la durée de l'occlusive /p/ et de l'occlusive /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

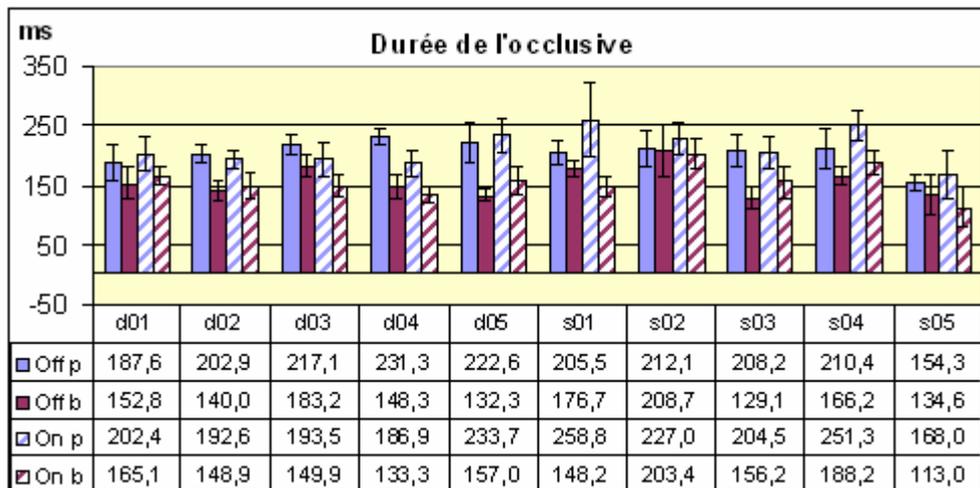


Figure 50 : Représentation graphique de la durée des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

**Observations :**

- En On et en Off, la durée de l'occlusive /b/ est plus courte que la durée de l'occlusive /p/ pour chacun des 10 sujets.
- La durée de l'occlusive /p/ augmente en On chez 6 sujet sur 10.
- La durée de l'occlusive /b/ augmente en On chez 5 sujets sur 10.

**III.1.6. Durée de l'occlusive, /p/ et /b/ confondues pour chaque sujet selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement**

La figure 46 représente la durée de l'occlusive, selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

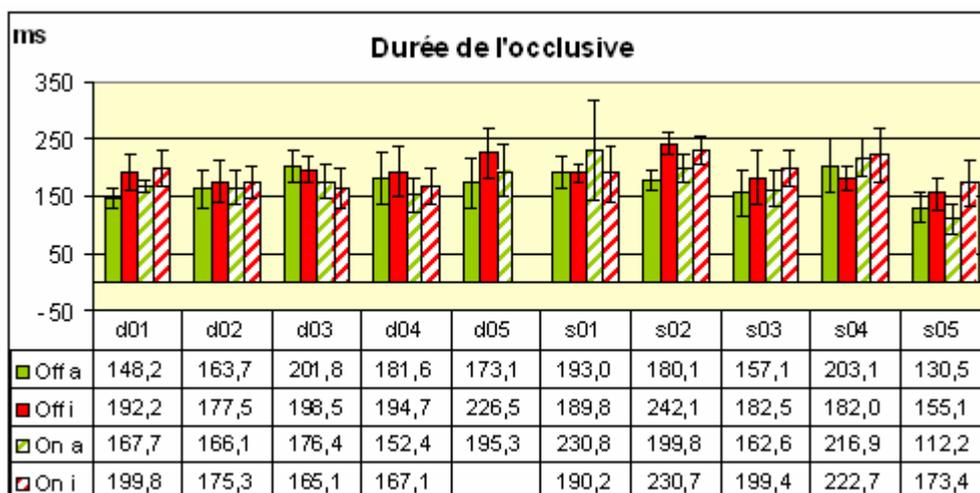


Figure 51 : Représentation graphique de la durée de l'occlusive selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

**Observations :**

- En Off, la durée des occlusives en contexte vocalique [a-a] est plus courte que celle des occlusives en contexte vocalique [i-i] pour 7 sujets sur 10.
- En On, la durée des occlusives en contexte vocalique [a-a] est plus courte que celle des occlusives en contexte vocalique [i-i] pour 7 sujets sur 9.
- La durée des occlusives en contexte vocalique [a-a] augmente en On chez 7 sujets sur 10.
- La durée des occlusives en contexte vocalique [i-i] augmente en On chez 5 sujets sur 10.

**D'après les données statistiques :**

La variable « Voisement » a un effet significatif sur la durée de l'occlusive et la variable « Traitement » a un effet marginalement significatif sur la durée de l'occlusive. L'interaction entre « Traitement » et « Condition » est significative avec, pour les parkinsoniens L-Dopa une diminution de la durée de l'occlusive en On par rapport à Off et pour les parkinsoniens SST une augmentation en On par rapport à Off.

**La durée de l'occlusive est significativement plus longue pour les occlusives non voisées que pour les occlusives voisées.**

**dur14 occlusive non voisée > dur14 occlusive voisée**

**(F(1,72)=29,790, p<.0001)**

**La durée de l'occlusive diminue en On pour les parkinsoniens L-Dopa et augmente pour les parkinsoniens SST.**

**L-dopa: dur14 Off > dur14 On**

**SST: dur14 Off < dur14 On**

**Remarques :**

- L'observation des données temporelles relevées entre les étiquettes 1 et 4 montre :
  - une durée de l'occlusive significativement plus longue pour les occlusives non voisées que pour les occlusives voisées.
  - une augmentation de la durée de l'occlusive en condition On par rapport à la condition Off pour les sujets SST et une diminution de la durée de l'occlusive en condition On par rapport à la condition Off pour les sujets L-Dopa.
- L'observation des différentes phases articulatoires de l'occlusives permettra d'analyser plus en détail l'organisation temporelle de l'occlusive.

### **III.2. Analyse de la durée des différentes phases de l'occlusive**

Afin d'observer les différentes phases articulatoires de l'occlusive, nous devons déterminer entre quelles étiquettes chacune d'elles se situe. Comme nous l'avons déjà mentionné dans la partie méthodologie, la localisation de la phase de tenue de l'occlusive nous permet de délimiter les phases de fermeture et d'ouverture. La phase de fermeture s'étend du début de l'augmentation de la courbe de Pio jusqu'au point, idéalement, de retour à zéro du Dab et dans les faits, de stabilisation de la courbe du Dab, ce qui correspond à l'intervalle entre les étiquettes 1 et 5. La phase de tenue de l'occlusion se visualise sur la courbe du Dab qui reste stable pendant un certain laps de temps, ce qui correspond à l'intervalle entre les étiquettes 5 et 6. La phase d'ouverture s'étend du point d'une nouvelle augmentation de la courbe du Dab jusqu'au point de retour à zéro de la courbe de Pio, ce qui correspond à l'intervalle entre les étiquettes 6 et 4. L'étiquette 6 marque le moment où la courbe de Dab réamorçait son ascension et, idéalement, ce point coïncide avec le moment où la Pio réamorçait sa chute de façon brutale indiqué par l'étiquette 3. La mesure de durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 nous permet de rendre compte de la synchronisation de ces deux événements et donc de la synchronisation, de la vitesse et de l'ampleur des mouvements articulatoires.

#### **III.2.1. Analyse de la durée de la phase de fermeture de l'occlusive**

Les données temporelles relevées entre les étiquettes 1 et 5 nous informent de la rapidité des gestes articulatoires pour se mettre en position de fermeture afin de produire les occlusives bilabiales /p/ et /b/.

##### **III.2.1.1. Durée de la phase de fermeture de l'occlusive selon le traitement et la condition d'enregistrement, toutes répétitions confondues**

La figure 47 représente la durée de la phase de fermeture de l'occlusive selon la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

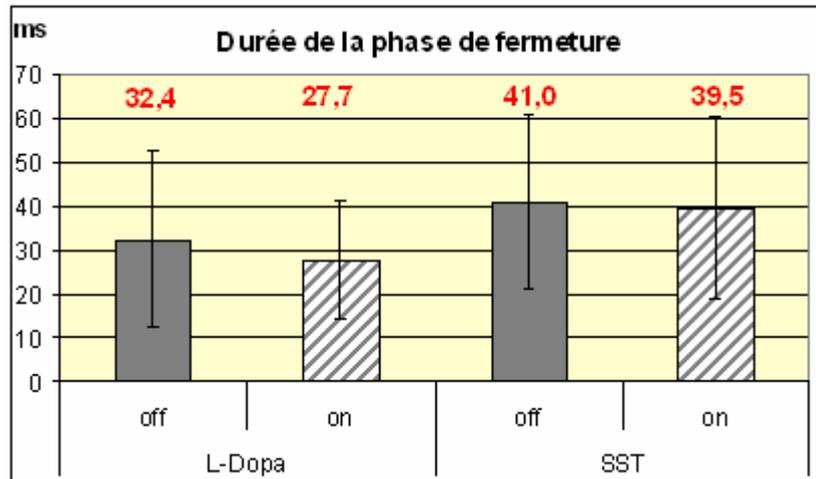


Figure 52 : Représentation graphique de la durée de la phase de fermeture de l’occlusive pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d’enregistrement

**Observations :**

- La durée de la phase de fermeture est plus courte pour les sujets L-dopa que pour les sujets SST quelle que soit la condition d’enregistrement.
- La durée de la phase de fermeture diminue en On pour les deux groupes de sujets.

**III.2.1.2. Durée de la phase de fermeture de l’occlusive pour /p/ et pour /b/ selon le traitement et la condition d’enregistrement**

La figure 48 représente la durée de la phase de fermeture de l’occlusive /p/ et /b/, selon la condition d’enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

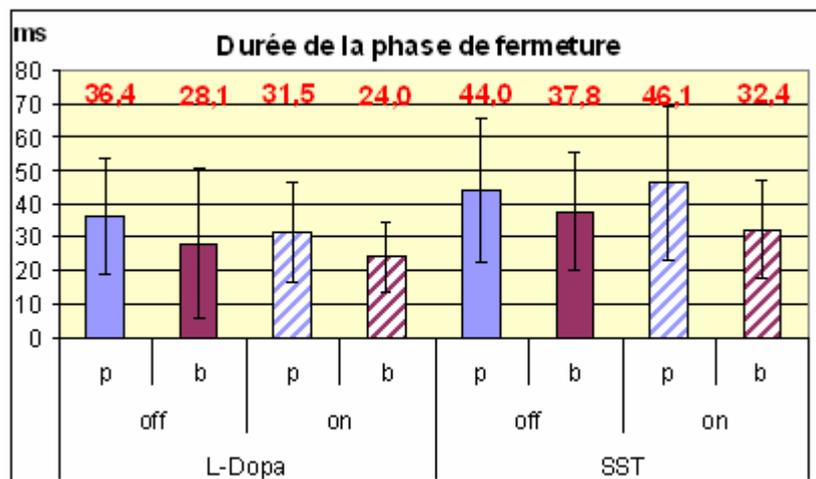


Figure 53 : Représentation graphique de la durée de la phase de fermeture de /p/ et de /b/ pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d’enregistrement

**Observations :**

- La durée de la phase de fermeture est plus longue pour l'occlusive non voisée /p/ que pour l'occlusive voisée /b/ quelle que soit la condition d'enregistrement et quel que soit le type de traitement.
- En On, la durée de la phase de fermeture diminue pour /p/ et pour /b/ pour les sujets L-Dopa et elle augmente pour /p/ et diminue pour /b/ pour les sujets SST.

**III.2.1.3. Durée de la phase de fermeture pour les occlusives /p/ et /b/ confondues en contexte vocalique [a\_a] et en contexte vocalique [i\_i] selon le traitement et la condition d'enregistrement**

La figure 49 représente la durée de la phase de fermeture de l'occlusive, selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

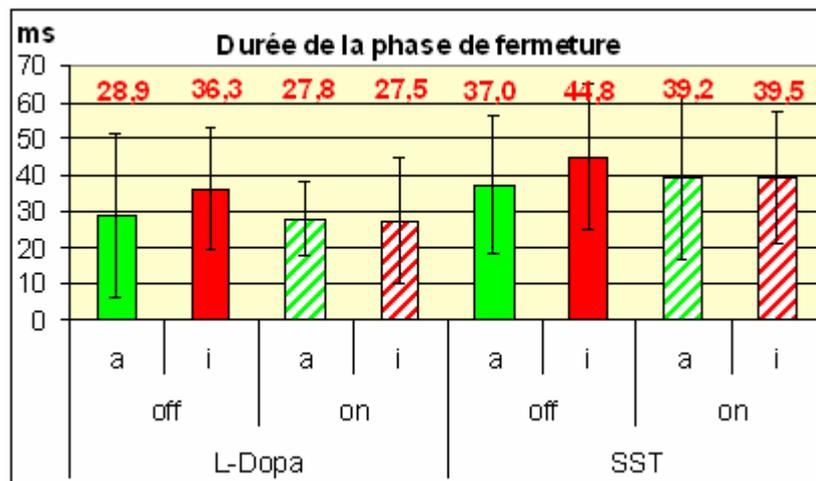


Figure 54 : Représentation graphique de la durée de la phase de fermeture de l'occlusive en contexte vocalique [a\_a] et [i\_i] pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement

**Observations :**

- En Off, la durée de la phase de fermeture de l'occlusive est plus courte pour les occlusives en contexte vocalique [a\_a] que pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] pour les deux groupes de sujets.
- En On, la phase de fermeture de l'occlusive est sensiblement de même durée quel que soit le contexte vocalique pour les deux groupes de sujets.
- En On, pour les sujets L-Dopa, la durée de la phase de fermeture de l'occlusive diminue quel que soit le contexte vocalique.
- En On, pour les sujets SST, la durée de la phase de fermeture de l'occlusive augmente pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] et diminue pour les occlusives en contexte vocalique [i-i].

### III.2.1.4. Durée de la phase de fermeture de l'occlusive toutes répétitions confondues pour chaque sujet selon la condition d'enregistrement

La figure 50 représente la durée de la phase de fermeture de l'occlusive, /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

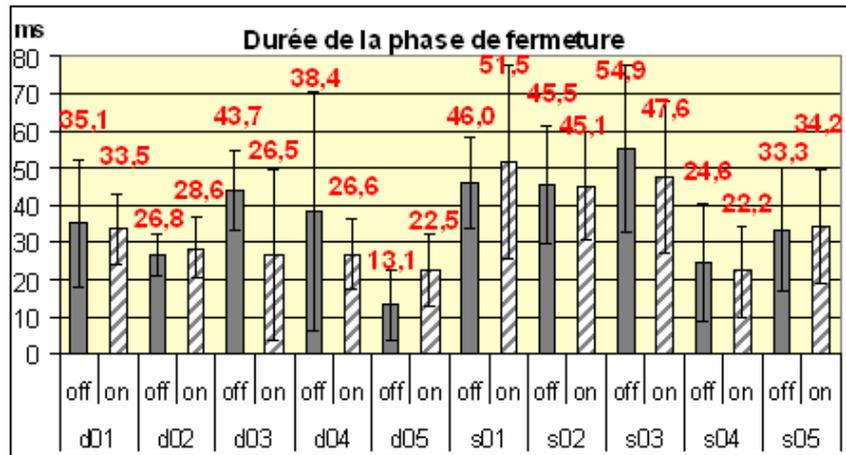


Figure 55 : Représentation graphique de la durée de la phase de fermeture de l'occlusive, /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

#### Observations :

- La durée de la phase de fermeture de l'occlusive diminue en On pour 6 sujets sur 10.
- L'écart type témoigne de la grande variabilité de la durée de la phase de fermeture de l'occlusive.

### III.2.1.5. Durée de la phase de fermeture de l'occlusive pour /p/ et pour /b/ pour chaque sujet, selon la condition d'enregistrement

La figure 51 représente la durée de la phase de fermeture des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

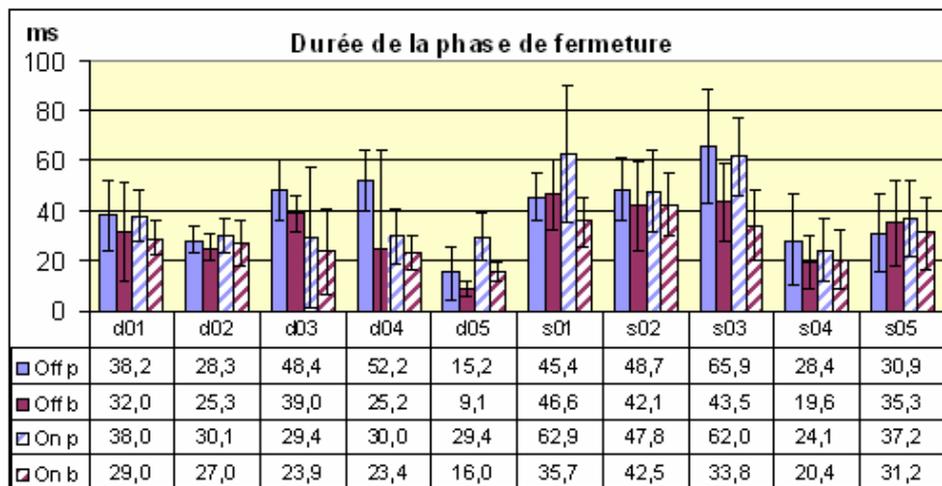


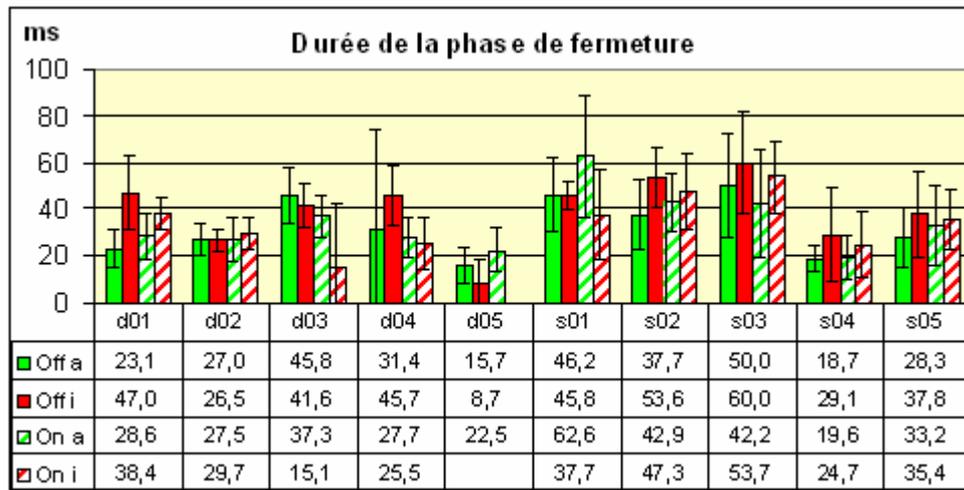
Figure 56 : Représentation graphique de la durée de la phase de fermeture des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

**Observations :**

- La durée de la phase de fermeture est plus longue pour l’occlusive non voisée /p/ que pour l’occlusive voisée /b/, quel que soit la condition d’enregistrement et quel que soit le type de traitement.
- En On, la durée de la phase de fermeture de l’occlusive diminue pour /p/ chez 6 sujets sur 10 et pour /b/ chez 6 sujets sur 10 également.

**III.2.1.6. Durée de la phase de fermeture de l’occlusive pour /p/ et /b/ confondues pour chaque sujet selon le contexte vocalique et la condition d’enregistrement**

La figure 52 représente la durée de la phase de tenue de l’occlusive selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.



**Figure 57 : Représentation graphique de la durée de la phase de fermeture de l’occlusive selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i-i] pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On**

**Observations :**

- En Off, la durée de la phase de fermeture de l’occlusive est plus courte pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] que celle pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] pour 6 sujets sur 10.
- En On, la durée de la phase de fermeture de l’occlusive est plus courte pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] que celle pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] pour 6 sujets sur 9.
- Pour les occlusives en contexte vocalique [a-a], la durée de la phase de fermeture diminue en On pour 3 sujets sur 10.
- Pour les occlusives en contexte vocalique [i-i], la durée de la phase de fermeture diminue en On pour 8 sujets sur 9.

**D'après les données statistiques :**

La variable « Traitement » et la variable « Voisement » ont toutes les deux un effet significatif sur la durée de la phase de fermeture. Il n'y a pas d'interaction significative entre « Traitement » et « Voisement », ce qui signifie que la durée de la phase de fermeture est significativement plus longue pour les parkinsoniens SST par rapport aux parkinsoniens L-Dopa, dans les mêmes proportions que la consonne soit voisée ou non-voisée.

**La durée de la phase de fermeture est significativement plus longue pour les parkinsoniens SST que pour les parkinsoniens L-Dopa.**

**dur15 SST > dur15 L-Dopa**

**(F(1,72)=14,593, p<.0003)**

**La durée de la phase de fermeture est significativement plus longue pour les occlusives non-voisées que pour les occlusives voisées.**

**dur15 /p/ > dur15/b/**

**(F(1,72)=9,098, p<.004)**

**Remarques :**

- La durée de la phase de fermeture est significativement plus courte pour l'occlusive voisée /b/ que pour l'occlusive non voisée /p/ pour les deux groupes de sujets et dans les deux conditions d'enregistrement.
- L'observation des données temporelles toutes occlusives confondues et contextes vocaliques confondus montre une augmentation de la durée de la phase de fermeture pour les deux groupes de sujets mais cette différence n'est pas significative.
- Une observation plus détaillée montre une diminution de la durée de la phase de fermeture en On pour 6 sujets sur 10 pour /p/ et pour /b/.
- Les données montrent que la diminution de la durée de la phase de tenue est plus récurrente pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] que pour celles en contexte vocalique [a-a].

### III.2.2. Analyse de la durée de la phase de tenue de l'occlusive

Les données temporelles relevées entre les étiquettes 5 et 6 nous informent de la durée du maintien de l'occlusion de la part des articulateurs afin de produire les occlusives bilabiales /p/ et /b/.

#### III.2.2.1. Durée de la phase de tenue de l'occlusive selon le traitement et la condition d'enregistrement, toutes répétitions confondues

La figure 53 représente la durée de la phase de tenue de l'occlusive selon la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

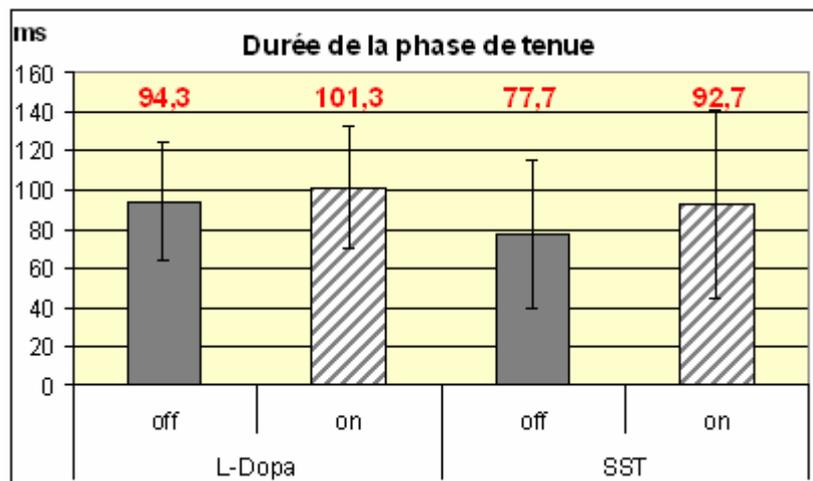


Figure 58 : Représentation graphique de la durée de la phase de tenue de l'occlusive pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement

#### Observations :

- La durée de la phase de tenue est plus longue chez les sujets L-Dopa que chez les sujets SST en Off et en On.
- La durée de la phase de tenue augmente en On pour les deux groupes de sujets.

#### III.2.2.2. Durée de la phase de tenue de l'occlusive pour /p/ et pour /b/ selon le traitement et la condition d'enregistrement

La figure 54 représente la durée de la phase de tenue de l'occlusive /p/ et /b/, selon la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

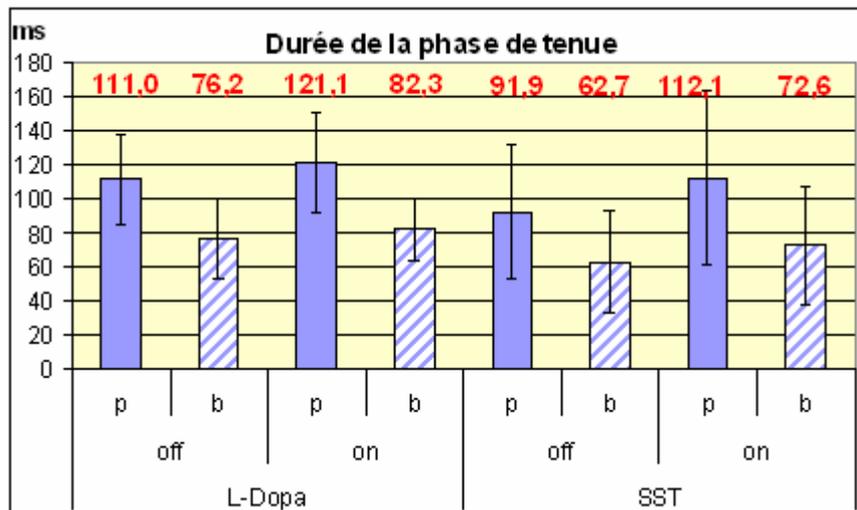


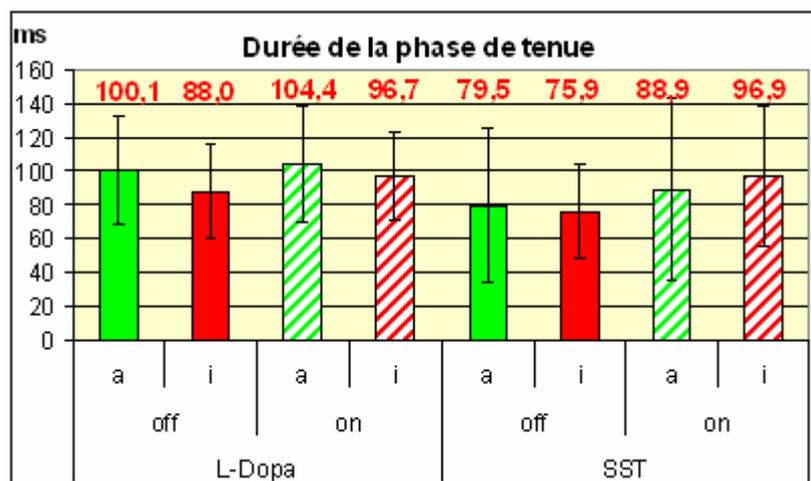
Figure 59 : Représentation graphique de la durée de la phase de tenue pour /p/ et /b/ pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement

**Observations :**

- La durée de la phase de tenue de l'occlusive est plus longue pour l'occlusive non voisée /p/ que pour l'occlusive voisée /b/ quelle que soit la condition d'enregistrement et quel que soit le type de traitement.
- La durée de la phase de tenue de l'occlusive augmente en On pour /p/ et pour /b/ pour les deux groupes de sujets.

**III.2.2.3. Durée de la phase de tenue pour les occlusives /p/ et /b/ confondues en contexte vocalique [a\_a] et en contexte vocalique [i\_i] selon le traitement et la condition d'enregistrement**

La figure 55 représente la durée de la phase de tenue de l'occlusive, selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).



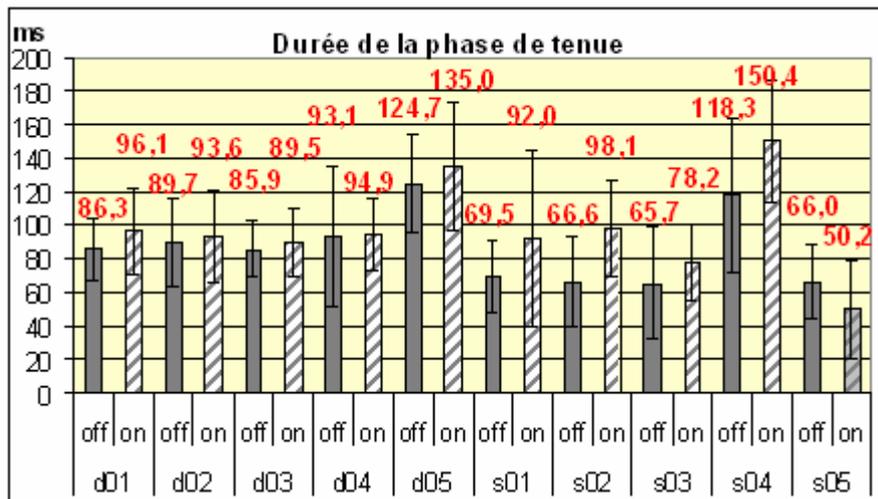
**Figure 60 : Représentation graphique de la durée de la phase de tenue de l'occlusive en contexte vocalique [a\_a] et [i\_i] pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement**

**Observations :**

- Pour les sujets L-Dopa, la durée de la phase de tenue pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] est plus longue que celle pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] quelle que soit la condition d'enregistrement.
- Pour les sujets SST, la durée de la phase de tenue pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] est plus longue que celle pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] en On et inversement en Off.
- La durée de la phase de tenue de l'occlusive augmente en On pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] et [i-i] pour les deux groupes de sujets.

**III.2.2.4. Durée de la phase de tenue de l'occlusive toutes répétitions confondues pour chaque sujet selon la condition d'enregistrement**

La figure 56 représente la durée de la phase de tenue de l'occlusive, /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.



**Figure 61 : Représentation graphique de la durée de la phase de tenue de l'occlusive, /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On**

**Observations :**

- En Off, la durée de la phase de tenue est plus courte pour les sujets SST que pour les sujets L-Dopa.
- La durée de la phase de tenue augmente en On pour les 10 sujets.

### III.2.2.5. Durée de la phase de tenue de l'occlusive pour /p/ et pour /b/ pour chaque sujet, selon la condition d'enregistrement

La figure 57 représente la durée de la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

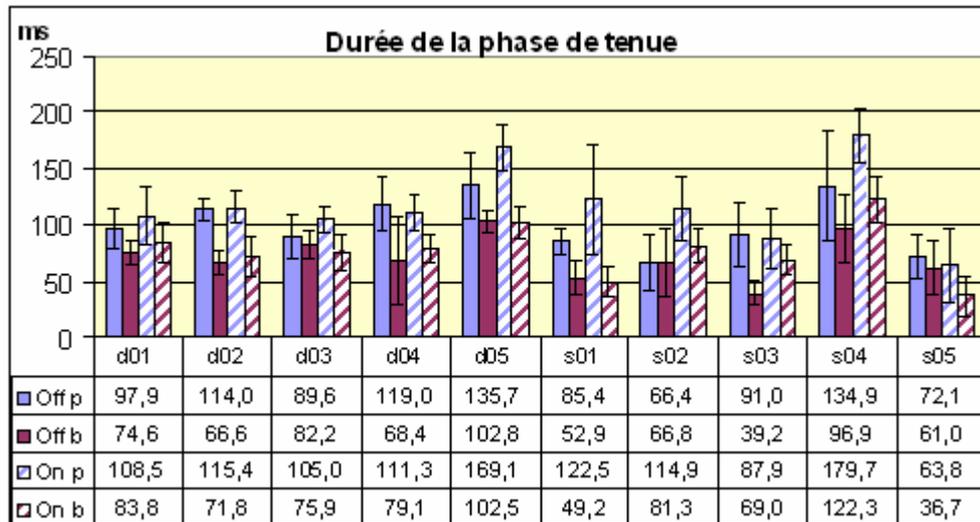


Figure 62 : Représentation graphique de la phase de fermeture des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

#### Observations :

- La durée de la phase de tenue de l'occlusive est plus longue pour l'occlusive non voisée /p/ que pour l'occlusive voisée /b/ pour tous les sujets quelle que soit la condition d'enregistrement et quel que soit le type de traitement sauf pour s02 Off.
- Pour /p/ la durée de la phase de tenue augmente en On pour 7 sujets sur 10.
- Pour /b/ la durée de la phase de tenue augmente en On pour 6 sujets sur 10.

### III.2.2.6. Durée de la phase de tenue de l'occlusive pour /p/ et /b/ confondues pour chaque sujet selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement

La figure 58 représente la durée de la phase de tenue de l'occlusive selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

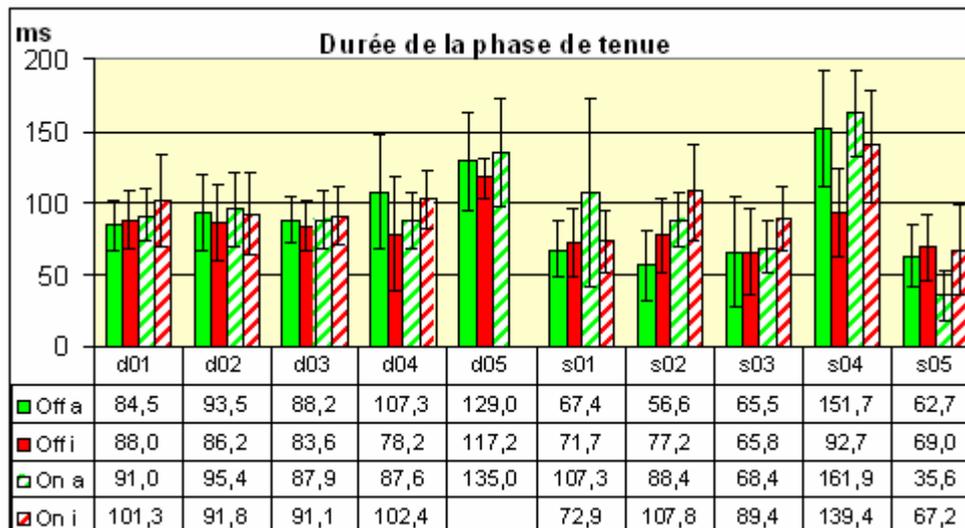


Figure 63 : Représentation graphique de la durée de la phase de tenue de l'occlusive selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i-i] pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

#### Observations :

- Pour les sujets L-Dopa, la durée de la phase de tenue de l'occlusive est plus longue pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] que celle pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] pour 5 sujets sur 10.
- Pour les sujets SST, la durée de la phase de tenue de l'occlusive est plus longue pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] que celle pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] pour 6 sujets sur 9.
- Pour les occlusives en contexte vocalique [a-a], la durée de la phase de tenue augmente en On pour 7 sujets sur 10.
- Pour les occlusives en contexte vocalique [i-i], la durée de la phase de tenue augmente en On pour 8 sujets sur 9.

#### D'après les données statistiques :

Seul la variable « Voisement » a un effet significatif sur la durée de la phase de tenue.

**La durée de la phase de tenue est plus courte pour les occlusives voisées que pour les occlusives non-voisées.**

$$\text{dur56 /b/} < \text{dur56 /p/}$$

$$(F(1,72)=21,518, p<.0001)$$

**Remarques :**

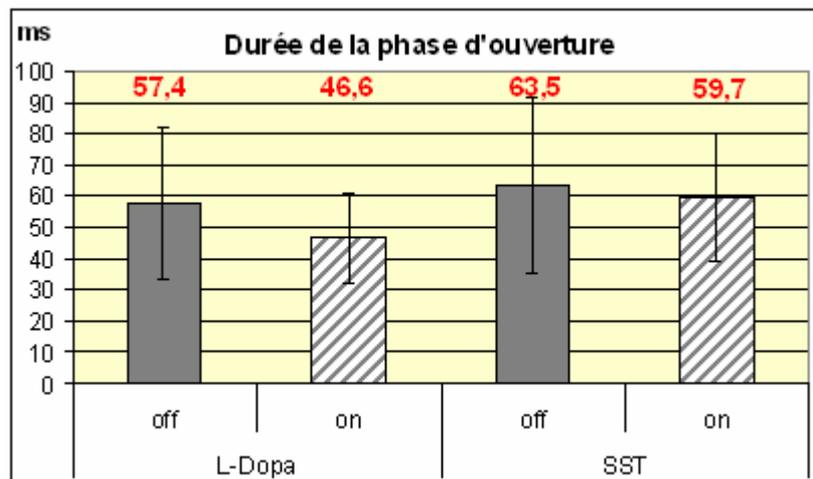
- Les mesures temporelles montrent une augmentation de la durée de la phase de tenue de l'occlusive en On pour tous les sujets.
- Une observation plus détaillée montre que cette augmentation de durée en On semble être plus récurrente
  - pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] que pour celles en contexte vocalique [a-a]
  - pour l'occlusive /p/ que pour l'occlusive /b/.

**III.2.3. Analyse de la durée de la phase d'ouverture de l'occlusive**

Les données temporelles relevées entre les étiquettes 5 et 4 nous informent de la rapidité des gestes articulatoires pour se mettre en position d'ouverture, c'est-à-dire de la durée du relâchement de l'occlusion de la part des articulateurs afin de produire les occlusives bilabiales /p/ et /b/.

**III.2.3.1. Durée de la phase d'ouverture de l'occlusive selon le traitement et la condition d'enregistrement, toutes répétitions confondues**

La figure 59 représente la durée de la phase d'ouverture de l'occlusive selon la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).



**Figure 64 : Représentation graphique de la durée de la phase d'ouverture de l'occlusive pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement**

**Observations :**

- La durée de la phase d'ouverture est plus courte pour les sujets L-Dopa que pour les sujets SST quel que soit la condition d'enregistrement.

- La durée de la phase d'ouverture diminue en On pour les deux groupes de sujets.

### III.2.3.2. Durée de la phase d'ouverture de l'occlusive pour /p/ et pour /b/ selon le traitement et la condition d'enregistrement

La figure 60 représente la durée de la phase d'ouverture de l'occlusive /p/ et /b/, selon la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

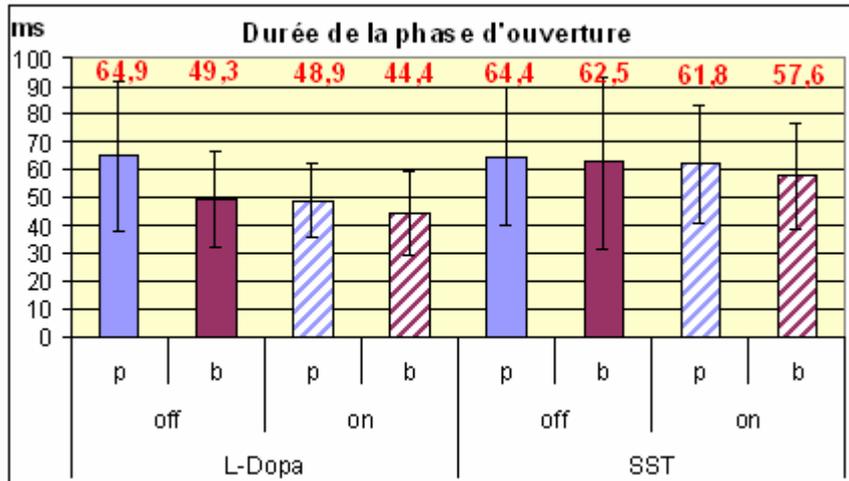


Figure 65 : Représentation graphique de la durée de la phase d'ouverture de /p/ et de /b/ pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement

#### Observations :

- La durée de la phase d'ouverture est plus longue pour l'occlusive non voisée /p/ que pour l'occlusive voisée /b/ quelle que soit la condition d'enregistrement et quel que soit le type de traitement.
- La durée de la phase d'ouverture diminue en On pour /p/ et pour /b/ pour les deux groupes de sujets.

### III.2.3.3. Durée de la phase d'ouverture pour les occlusives /p/ et /b/ confondues en contexte vocalique [a\_a] et en contexte vocalique [i\_i] selon le traitement et la condition d'enregistrement

La figure 61 représente la durée de la phase d'ouverture de l'occlusive, selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

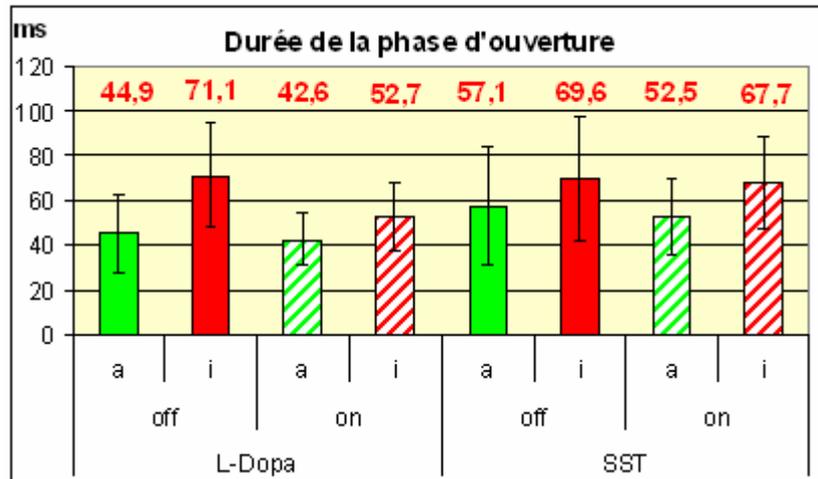


Figure 66 : Représentation graphique de la durée de la phase d'ouverture de l'occlusive en contexte vocalique [a\_a] et [i\_i] pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement

**Observations :**

- La durée de la phase d'ouverture pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] est plus longue que celle pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] quelle que soit la condition d'enregistrement et quel que soit le type de traitement.
- La durée de la phase d'ouverture diminue en On pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] et en contexte vocalique [i-i] pour les deux groupes de sujets.

**III.2.3.4. Durée de la phase d'ouverture de l'occlusive toutes répétitions confondues pour chaque sujet selon la condition d'enregistrement**

La figure 62 représente la durée de la phase d'ouverture de l'occlusive, /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

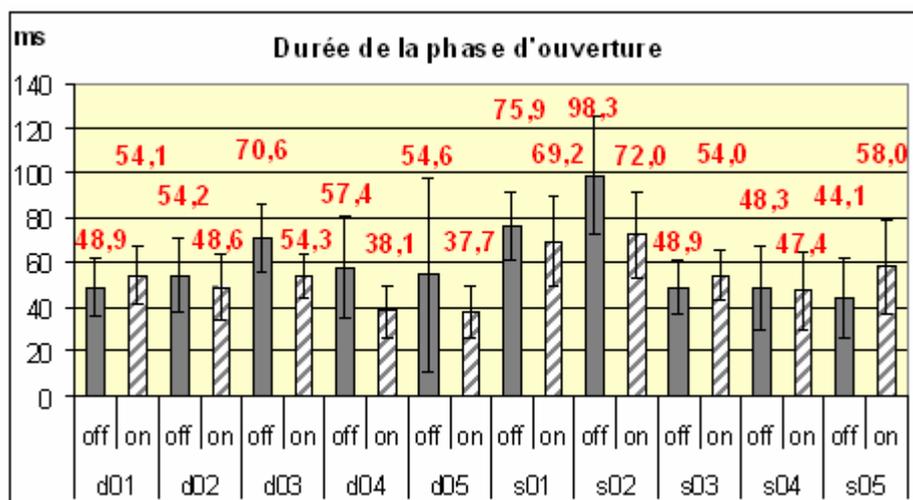


Figure 67 : Représentation graphique de la durée de la phase d'ouverture de l'occlusive, /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

**Observations :**

- La durée de la phase d'ouverture diminue en On pour 7 sujets sur 10.

### III.2.3.5. Durée de la phase d'ouverture de l'occlusive pour /p/ et pour /b/ pour chaque sujet, selon la condition d'enregistrement

La figure 63 représente la durée de la phase d'ouverture des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

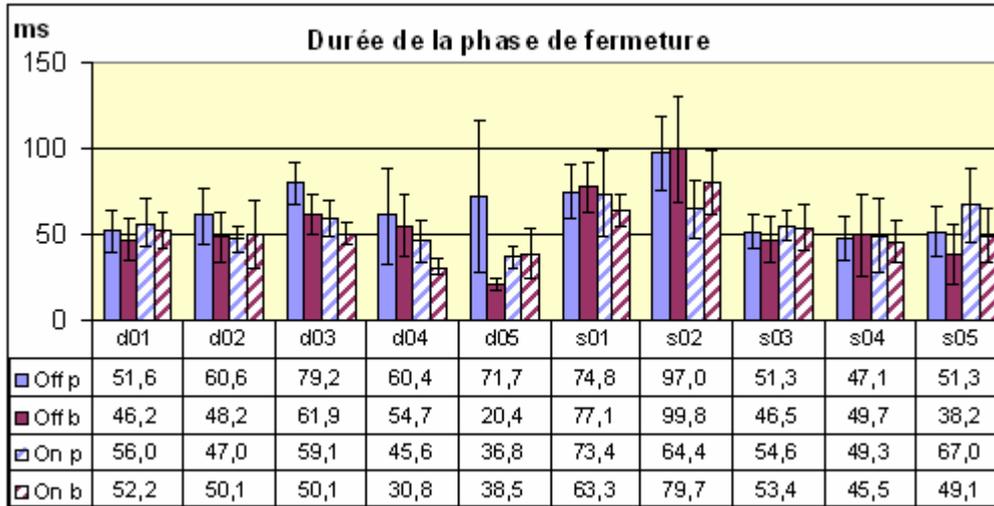


Figure 68 : Représentation graphique de la phase d'ouverture des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

#### Observations :

- En off, la durée de la phase d'ouverture est plus longue pour /p/ que pour /b/ pour 7 sujets sur 10.
- En On, la durée de la phase d'ouverture est plus longue pour /p/ que pour /b/ pour 7 sujets sur 10.
- Pour /p/, la durée de la phase d'ouverture diminue pour 6 sujets sur 10 et augmente pour 4 sujets sur 10.
- Pour /b/, la durée de la phase d'ouverture diminue pour 5 sujets sur 10 et augmente pour 5 sujets sur 10.

### III.2.3.6. Durée de la phase d'ouverture de l'occlusive pour /p/ et /b/ confondues pour chaque sujet selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement

La figure 64 représente la durée de la phase d'ouverture de l'occlusive selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

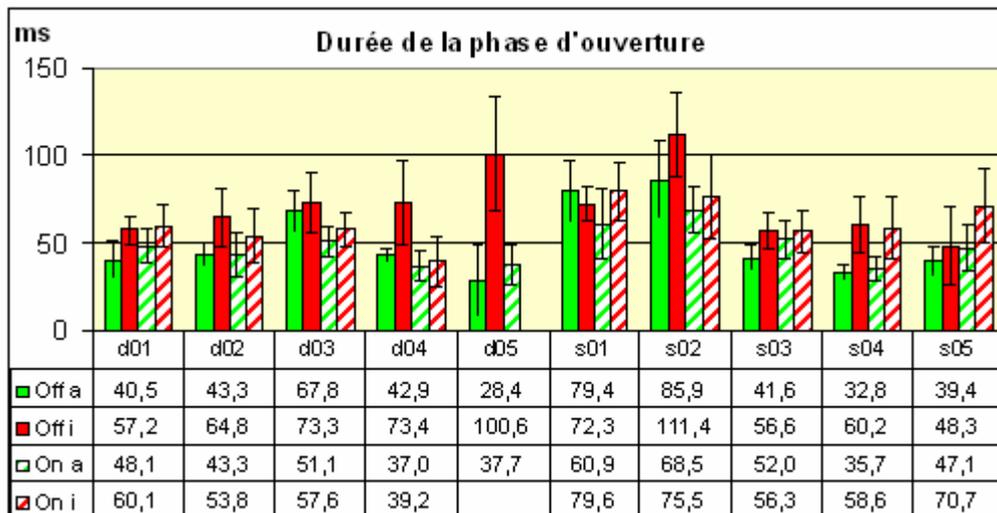


Figure 69 : Représentation graphique de la durée de la phase d'ouverture de l'occlusive selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i-i] pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

**Observations :**

- La phase d'ouverture est de plus courte durée pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] que pour celles en contexte vocalique [i-i] pour tous les sujets en Off et en On sauf pour s01 Off.
- Pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] la durée de la phase d'ouverture augmente en On pour 5 sujets, elle diminue pour 4 sujets et reste stable pour 1 sujet.
- Pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] la durée de la phase d'ouverture diminue pour 7 sujets sur 9 et augmente pour 2 sujets.

**D'après les données statistiques :**

Seule la variable « Traitement » a un effet significatif sur la durée de la phase d'ouverture. D'autre part, la variable « Condition » a un effet marginalement significatif sur la durée de la phase d'ouverture.

**La durée de la phase d'ouverture est plus longue pour les parkinsoniens SST que pour les parkinsoniens L-Dopa.**

$$\text{dur64 SST} > \text{dur64 L-Dopa}$$

$$(F(1,72)=7,851, p<.007)$$

**La durée de la phase d'ouverture tend à s'allonger en condition Off par rapport à la condition On.**

$$\text{dur64 Off} > \text{dur64 On}$$

$$(F(1,72)=3,321, p<.08)$$

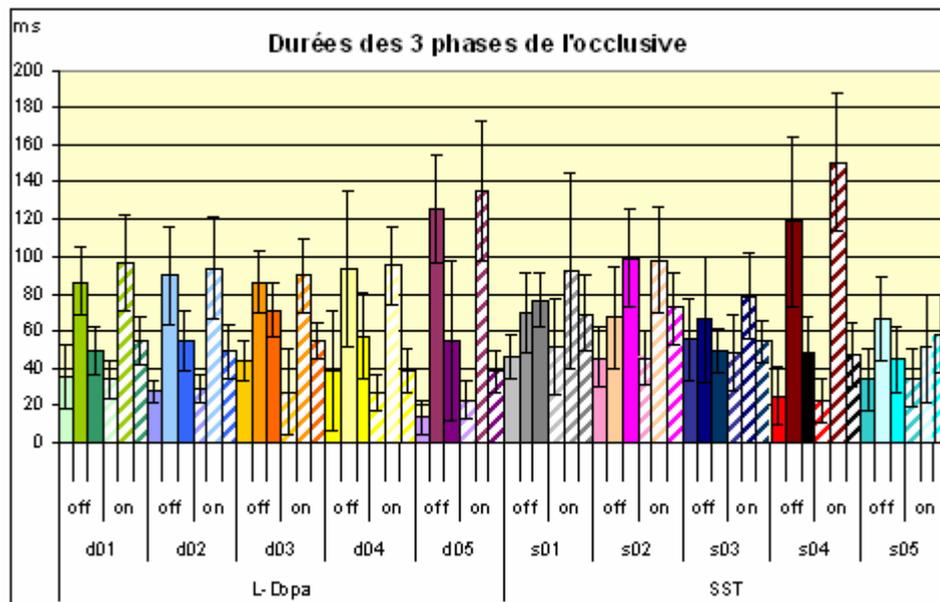
**Remarques :**

- Les données permettent de constater une diminution de la durée de la phase d'ouverture de l'occlusive en On mais cette différence de durée entre les deux conditions n'est que marginalement significative.
- Cette diminution semble être plus récurrente
  - pour l'occlusive /p/ que pour l'occlusive /b/
  - pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] que pour celles en contexte vocalique [a-a]

**III.3. Analyse de l'organisation temporelle de l'occlusive**

L'observation simultanée de la durée des trois phases de production de l'occlusive permet d'analyser l'organisation temporelle de l'occlusive.

La figure 65 représente la durée des 3 phases de production de l'occlusive, /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques [a\_a] ou [i\_i] confondus, pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.



**Figure 70 : Représentation graphique de la durée des trois phases articulatoires de l'occlusive, /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus, pour chacun des 10 sujets, selon la condition d'enregistrement**

**Observations :**

- La phase de tenue de l'occlusive est de plus longue durée que la phase de fermeture pour tous les sujets dans les deux conditions d'enregistrement.

- La phase de tenue de l'occlusive est de plus longue durée que la phase d'ouverture pour tous les sujets dans les deux conditions d'enregistrement sauf pour s01 Off, s02 Off et s05 On.
- La phase de fermeture de l'occlusive est de plus courte durée que la phase d'ouverture pour tous les sujets dans les deux conditions d'enregistrement sauf pour s03 Off.

**Remarques :**

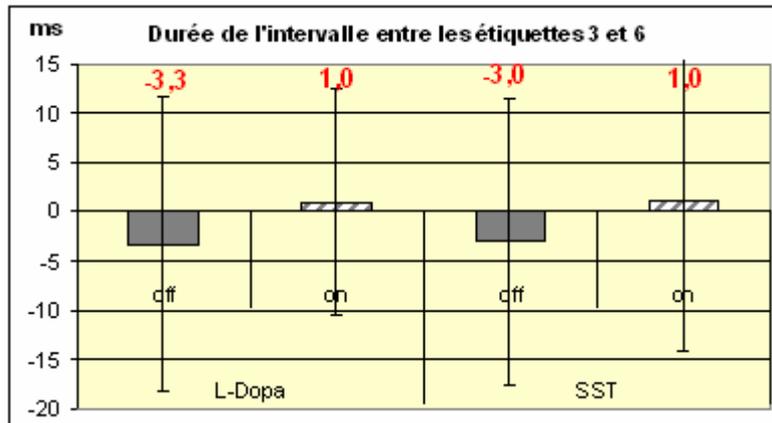
- Les deux sujets (s01 et s02) qui montraient une organisation temporelle de l'occlusive avec une phase d'ouverture de plus longue durée que la phase de tenue en condition Off présentent en condition On des occlusives dont l'organisation temporelle s'est restructurée avec une phase de tenue de plus longue durée que les phases de fermeture et d'ouverture et une phase de fermeture de plus longue durée que la phase d'ouverture.
- Pour le sujet s05 l'organisation temporelle évolue en On avec une phase d'ouverture de plus longue durée que la phase de tenue et que la phase de fermeture.

**III.4. Analyse de la synchronisation des mouvements articulatoires : durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6.**

La durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 nous informe de la synchronisation des événements aérodynamiques. L'étiquette 3 marque le début de la chute de la courbe de la Pio et l'étiquette 6 marque le début de l'augmentation de la courbe du Dab. Ces deux étiquettes sont idéalement superposées. Lorsque la durée de l'intervalle est positive (l'étiquette 3 se positionne avant l'étiquette 6) la Pio commence à diminuer avant que le Dab commence à augmenter, lorsque la durée de l'intervalle est négative (l'étiquette 6 se positionne avant l'étiquette 3) le Dab commence à augmenter avant que la Pio commence à diminuer.

**III.4.1. Durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 selon le traitement et la condition d'enregistrement, toutes répétitions confondues**

La figure 66 représente la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 selon la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).



**Figure 71 : Représentation graphique de la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement**

**Observations :**

- La durée de l'intervalle est négative en Off pour les deux groupes de sujets : le Dab augmente avant que la Pio diminue.
- La durée de l'intervalle est positive en On pour les deux groupes de sujets : la Pio diminue avant que le Dab augmente.
- La durée de l'intervalle est plus importante en Off qu'en On pour les deux groupes de sujets.
- La durée de l'intervalle est quasi nulle en On avec une durée de 1 ms environ pour les deux groupes de sujets.
- L'écart type témoigne de la grande variabilité de la durée de cet intervalle pour les deux groupes de sujets et dans les deux conditions d'enregistrement.

**III.4.2. Durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour /p/ et pour /b/ selon le traitement et la condition d'enregistrement**

La figure 67 représente la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour /p/ et /b/, selon la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).

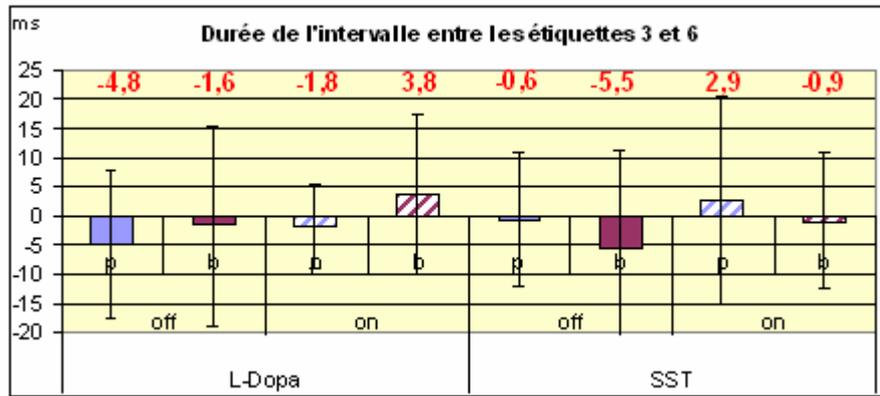


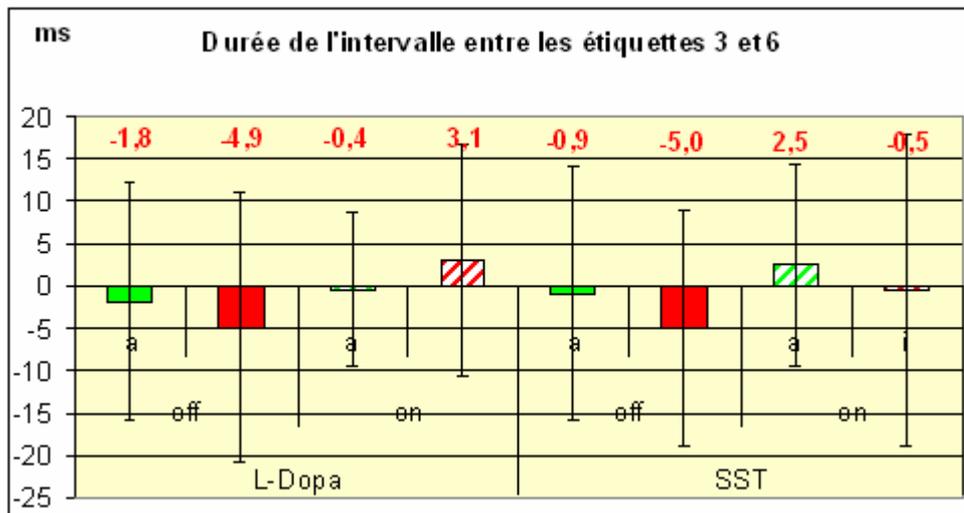
Figure 72 : Représentation graphique de la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour /p/ et de /b/ pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement

**Observations :**

- En Off, la durée de l'intervalle est négative pour /p/ et pour /b/ pour les deux groupes de sujets.
- En On, la durée de l'intervalle devient positive pour /b/ pour les sujets L-Dopa et pour /p/ pour les sujets SST.
- Pour les sujets L-Dopa, la durée de l'intervalle pour /p/ diminue en On et la durée de l'intervalle pour /b/ augmente en On.
- Pour les sujets SST, la durée de l'intervalle pour /p/ augmente en On et la durée de l'intervalle pour /b/ diminue en On.

**III.4.3. Durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour les occlusives /p/ et /b/ confondues en contexte vocalique [a\_a] et en contexte vocalique [i\_i] selon le traitement et la condition d'enregistrement**

La figure 68 représente la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6, selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement pour les deux groupes de sujets sous traitement dopaminergique (L-Dopa) ou chirurgical (SST).



**Figure 73 : Représentation graphique de la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour les occlusives en contexte vocalique [a\_a] et [i\_i] pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement**

**Observations :**

- En Off, la durée de l'intervalle est négative pour les occlusives dans les deux contextes vocaliques pour les deux groupes de sujets.
- En On, la durée de l'intervalle devient positive pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] pour les sujets L-Dopa et pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] pour les sujets SST.
- Pour les sujets L-Dopa, en On la durée de l'intervalle diminue pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] et en contexte vocalique [i-i].
- Pour les sujets SST, en On la durée de l'intervalle augmente pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] et diminue pour les occlusives en contexte vocalique [i-i].

**III.4.4. Durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 toutes répétitions confondues pour chaque sujet selon la condition d'enregistrement**

La figure 69 représente la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6, /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

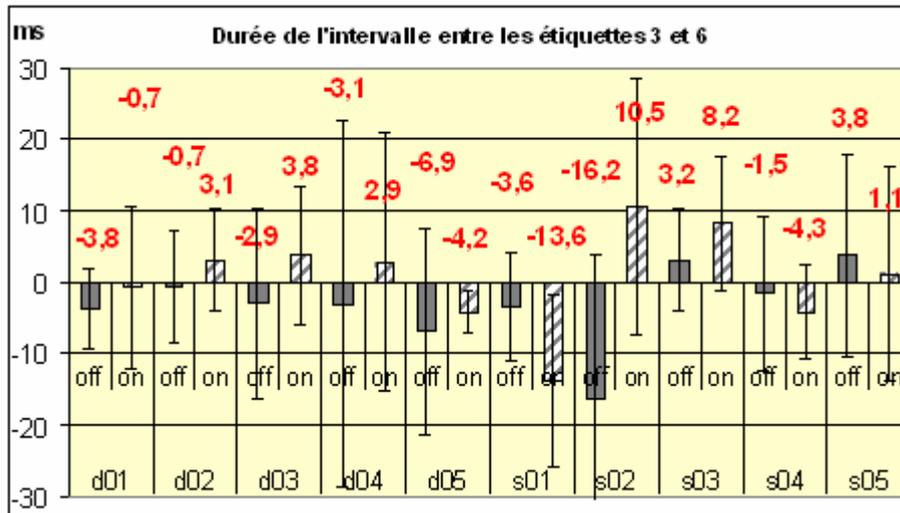


Figure 74 : Représentation graphique de la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6, /p/ et /b/ confondus, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

**Observations :**

- En Off la durée de l'intervalle est négative pour 8 sujets et positive pour 2 sujets.
- En On la durée de l'intervalle est négative pour 4 sujets et positive pour 6 sujets.
- La durée de l'intervalle diminue en On pour 5 sujets sur 10.

**III.4.5. Durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour /p/ et pour /b/ pour chaque sujet, selon la condition d'enregistrement**

La figure 75 représente la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

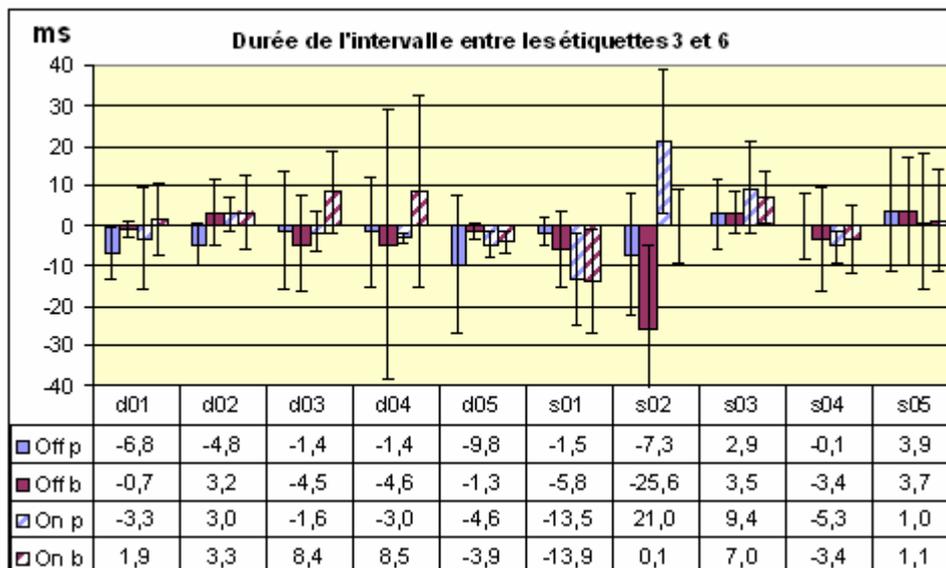


Figure 75 : Représentation graphique de la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour les occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

**Observations :**

- En Off, la durée de l'intervalle est négative pour /p/ pour 8 sujets sur 10 et pour /b/ pour 7 sujets sur 10.
- En On, la durée de l'intervalle est négatif pour /p/ pour 6 sujets sur 10 et pour /b/ pour 3 sujets sur 10.
- En Off, l'intervalle est de plus courte durée pour /p/ que pour /b/ pour 6 sujets sur 10.
- En On, l'intervalle est de plus courte durée pour /p/ que pour /b/ pour 4 sujets.
- Pour l'occlusive /p/, la durée de l'intervalle augmente en On pour 6 sujets et diminue pour 4 sujets.
- Pour l'occlusive /b/, la durée de l'intervalle augmente en On pour 7 sujets, elle diminue pour 2 sujets et reste stable pour 1 sujet.

**III.4.6. Durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour /p/ et /b/ confondues pour chaque sujet selon le contexte vocalique et la condition d'enregistrement**

La figure 71 représente la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i\_i] pour chacun des 10 sujets en situation On et en situation Off.

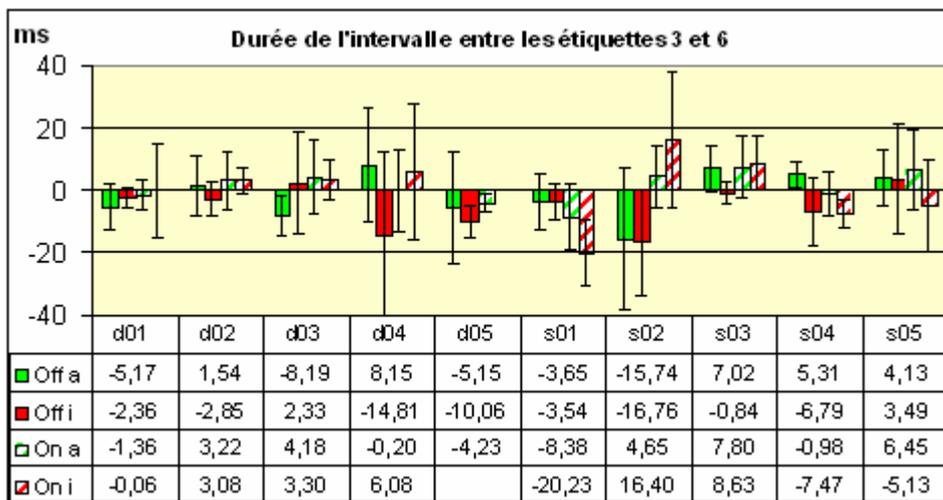


Figure 76 : Représentation graphique de la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 selon le contexte vocalique [a\_a] ou [i-i] pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On

**Observations :**

- En Off, la durée de l'intervalle est négative pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] pour 5 sujets sur 10 et pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] pour 8 sujets sur 10.

- En On, la durée de l'intervalle est négative pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] pour 5 sujets sur 10 et pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] pour 4 sujets sur 9.
- En Off, l'intervalle pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] est de plus longue durée que celui pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] pour 5 sujets sur 10.
- En Off, l'intervalle pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] est de plus longue durée que celui pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] pour 4 sujets sur 9.
- Pour les occlusives en contexte vocalique [a-a] la durée de l'intervalle diminue en On pour 7 sujets sur 10 et augmente pour 3 sujets sur 10.
- Pour les occlusives en contexte vocalique [i-i] la durée de l'intervalle diminue en On pour 3 sujets sur 9 et augmente pour 6 sujets sur 9.

**Remarques :**

- Les données temporelles de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 montrent un manque de synchronisation entre les évènements aérodynamiques.
- Les évènements semblent être plus coordonnés en condition On qu'en condition Off.
- L'étiquette 3 précède l'étiquette 6 de façon plus récurrente en condition On qu'en condition Off ; l'ordre est plus fréquemment inversé en condition Off.
- En On la pression diminue avant le relâchement de l'occlusion et en Off la diminution de la Pio est en retard par rapport au relâchement de l'occlusion.

**III.4.7. Les différentes configurations de l'intervalle de synchronisation**

Nous avons vu que l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 montre une durée hautement variable selon les sujets mais cette variabilité est présente aussi au sein des données pour un même sujet. Les représentations graphiques proposées aux chapitres III.4.1.a à f ne permettent pas de rendre compte clairement des variations de durée de l'intervalle 3-6 car les écart-types sont trop étendus. Non seulement la variation de durée est importante mais, l'ordre d'apparition des étiquettes 3 et 6 varie et donne à la durée de l'intervalle une valeur positive ou négative selon les répétitions. Nous avons décidé de donner des exemples des différentes

configurations de l'intervalle 3-6 afin de mieux illustrer la façon dont les évènements aérodynamiques peuvent se coordonner. Nous pouvons distinguer 3 cas de figure : les évènements de pression et de débit sont synchronisés et dur36 est nulle ou les deux évènements ne sont pas synchronisés et dans ce cas soit dur36 est positive soit dur36 est négative.

### III.4.8. Les évènements de pression et de débit sont synchronisés : dur36 nulle

Nous avons observés le nombre d'occlusives dont les évènements de Pio et de Dab sont synchronisés au moment du relâchement de l'occlusion. Nous avons compté le nombre d'occlusives qui présentent un intervalle 3-6 nul; elles représentent 12 % des occlusives du corpus, ce qui correspond à, en condition Off 8 % des /p/ et 17 % des /b/ et en condition On 8 % des /p/ et 16 % des /b/. La synchronisation est donc meilleure pour les occlusives voisées que pour les occlusives non voisées mais ne présente pas de différence en fonction de la condition d'enregistrement. La figure 72 est la représentation graphique du pourcentage d'occlusives dont les deux évènements de Pio et de Dab sont synchronisés pour /p/ et pour /b/, dans les deux conditions d'enregistrement et pour chaque parkinsonien.

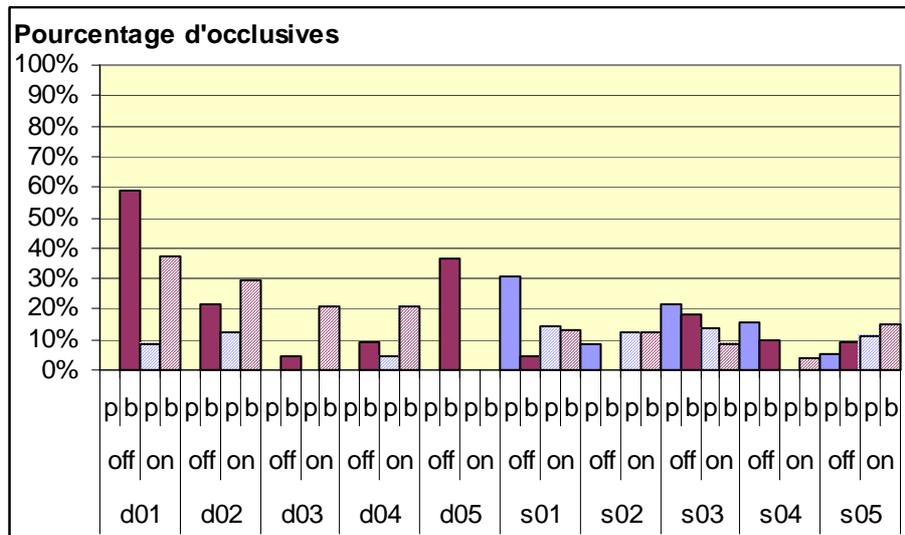


Figure 77: Représentation graphique du pourcentage d'occlusives dont les évènements de Pio et de Dab sont synchronisés pour /p/ et /b/ pour chacun des 10 parkinsoniens en condition Off et On

Lorsque, au relâchement de l'occlusion, la Pio commence à diminuer alors que le Dab commence à augmenter, les courbes de Pio et de Dab se présentent telles que sur la figure 73. C'est le cas pour 12 % des occlusives du corpus.

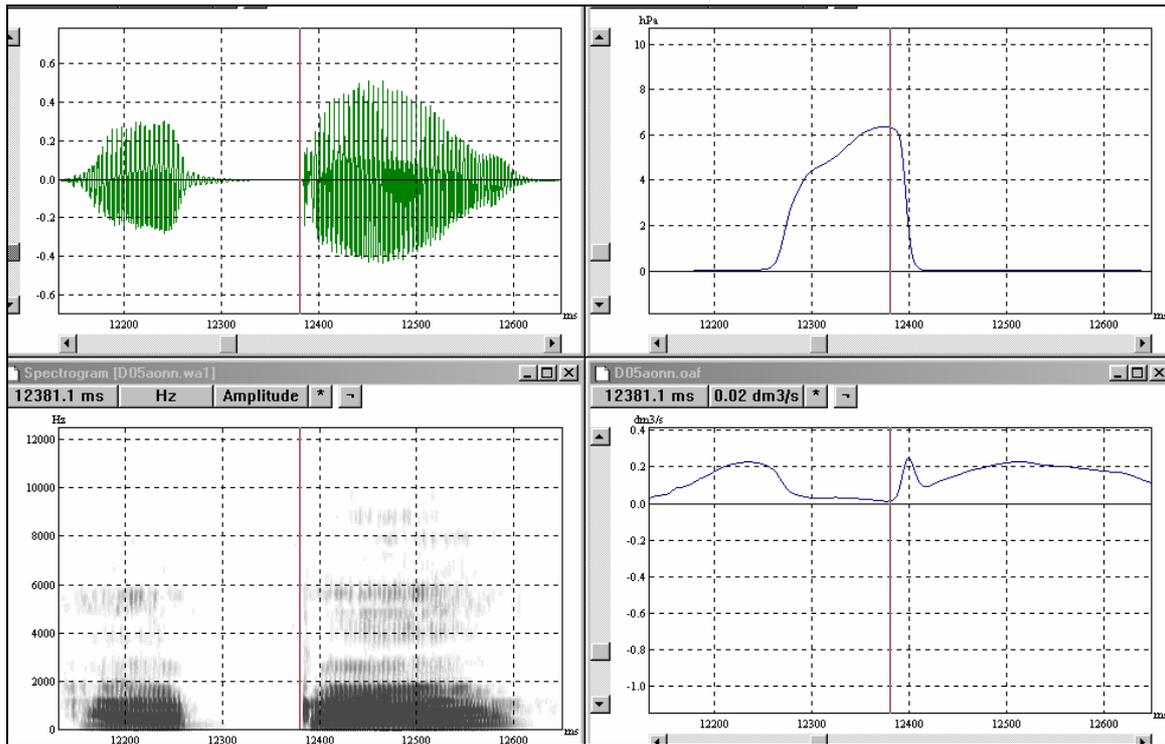
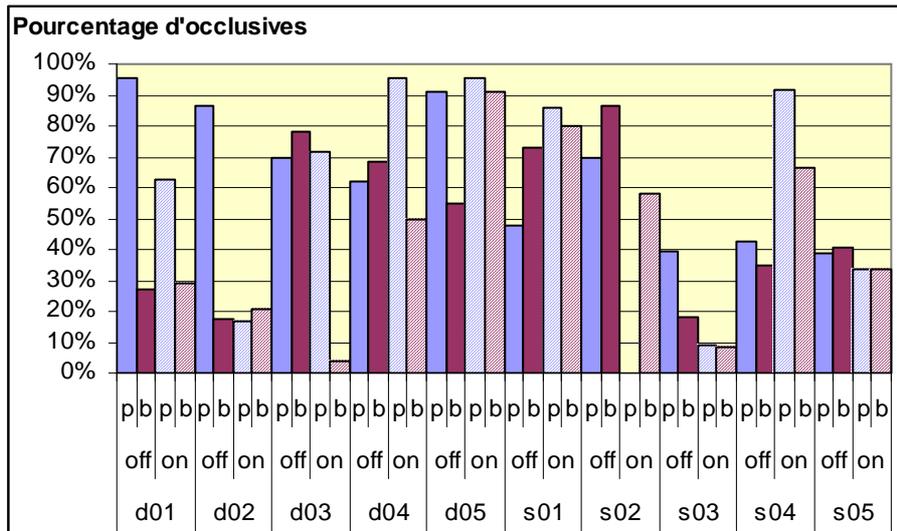


Figure 78: Occlusive dont les évènements de Pio et de Dab sont synchronisés, 2<sup>o</sup> répétition de [aba] chez le sujet d05 en état Off

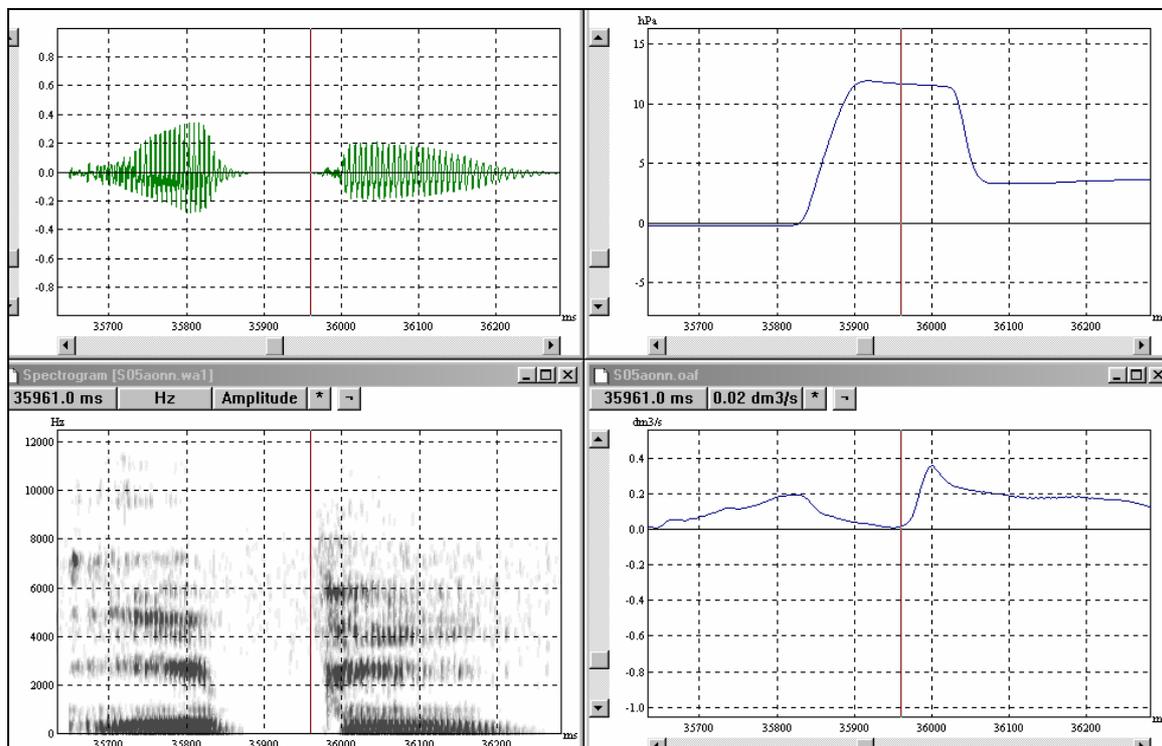
### III.4.9. Les évènements de pression et de débit ne sont pas synchronisés : dur36 négative

Nous avons observés le nombre d'occlusives dont les évènements de Pio et de Dab ne sont synchronisés au moment du relâchement de l'occlusion. Nous avons compté le nombre d'occlusives qui présentent un intervalle 3-6 négatif; elles représentent 55 % des occlusives du corpus, ce qui correspond à, en condition Off 64 % des /p/ et 50 % des /b/ et en condition On 56 % des /p/ et 44 % des /b/. La figure 74 est la représentation graphique du pourcentage d'occlusives pour lesquelles le Dab commence à augmenter avant que la Pio ne commence à diminuer pour /p/ et pour /b/, dans les deux conditions d'enregistrement et pour chaque parkinsonien.



**Figure 79: Représentation graphique du pourcentage d'occlusives dont les évènements de Pio et de Dab ne sont pas synchronisés avec une augmentation du Dab qui commence avant le commencement de la diminution de la Pio pour /p/ et /b/ pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et On**

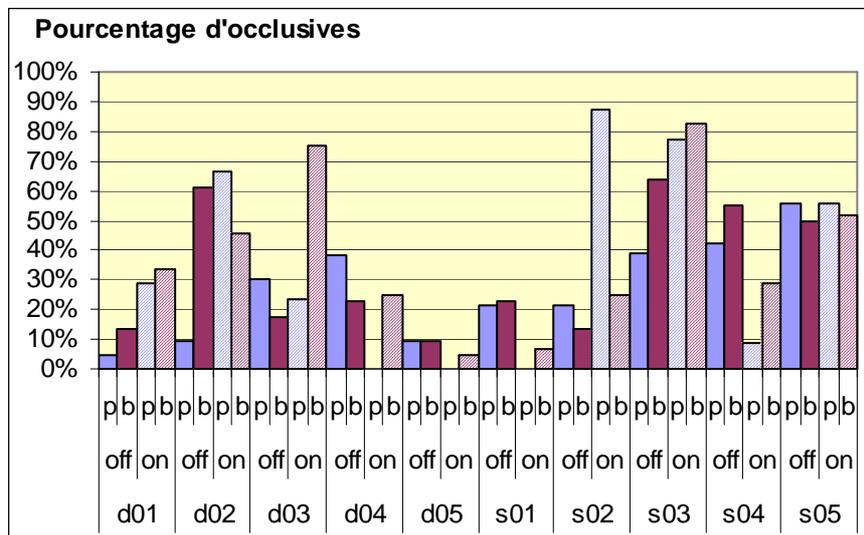
Lorsque, au relâchement de l'occlusion, le Dab commence à augmenter avant que la Pio ne commence à diminuer, les courbes de Pio et de Dab se présentent telles que sur la figure 75. C'est le cas pour 55 % des occlusives du corpus.



**Figure 80: Occlusive dont les évènements de Pio et de dab ne sont pas synchronisés et pour laquelle le Dab commence à augmenter avant le début de la diminution de la Pio, 4° répétition de [ipi] chez le sujet s05 en état Off**

### III.4.10. Les évènements de pression et de débit ne sont pas synchronisés : dur36 positive

Nous avons observé le nombre d'occlusives dont les évènements de Pio et de Dab ne sont synchronisés au moment du relâchement de l'occlusion. Nous avons compté le nombre d'occlusives qui présentent un intervalle 3-6 positif; elles représentent 33 % des occlusives du corpus, ce qui correspond à, en condition Off 27 % des /p/ et 33 % des /b/ et en condition On 35 % des /p/ et 38 % des /b/. La figure 76 est la représentation graphique du pourcentage d'occlusives pour lesquelles la Pio commence à diminuer avant que le dab ne commence à augmenter pour /p/ et pour /b/, dans les deux conditions d'enregistrement et pour chaque parkinsonien.



**Figure 81: Représentation graphique du pourcentage d'occlusives dont les évènements de Pio et de Dab ne sont pas synchronisés avec une diminution de la Pio qui commence avant le début de l'augmentation du Dab pour /p/ et /b/ pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et On**

Lorsque, au relâchement de l'occlusion, La Pio commence à diminuer avant que le Dab ne commence à augmenter, les courbes de Pio et de Dab se présentent telles que sur la figure 77. C'est le cas pour 33 % des occlusives du corpus.

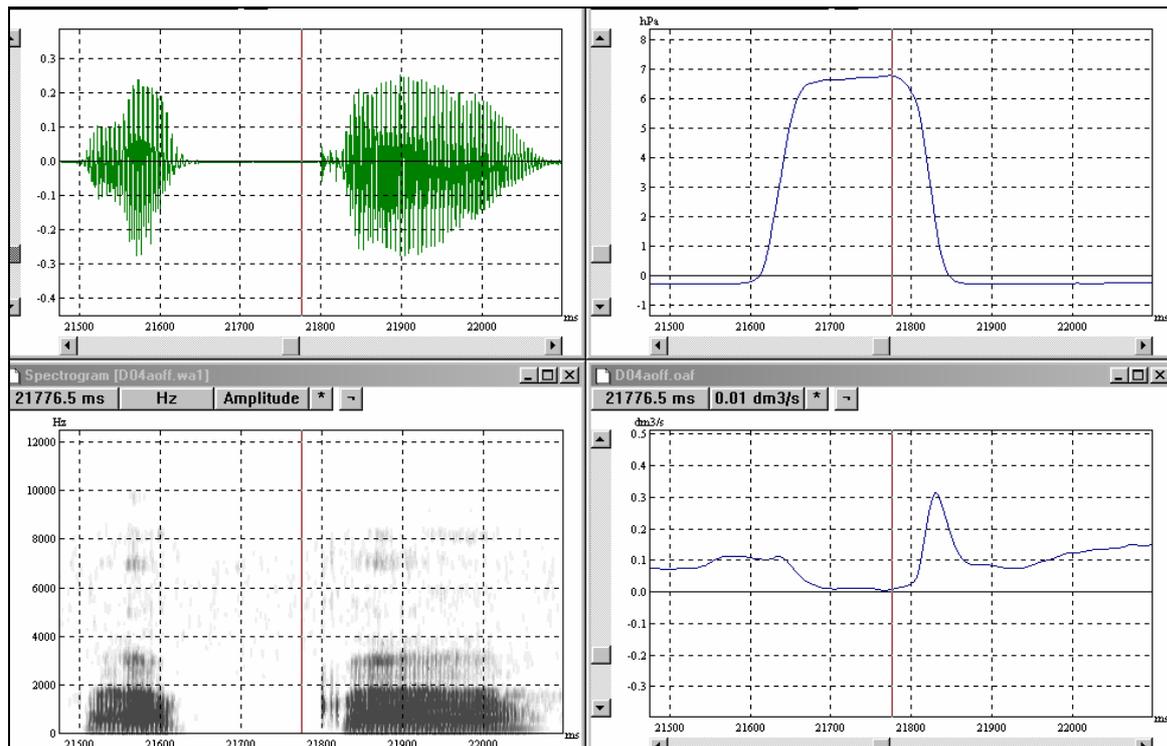


Figure 82: Occlusive dont les évènements de Pio et de dab ne sont pas synchronisés et pour laquelle la Pio commence à diminuer avant le début de l'augmentation du Dab, 11<sup>o</sup> répétition de [apa] chez le sujet d04 en état Off

**Remarques :**

- Lors du relâchement de l'occlusion, les évènements de Pio et de Dab ne sont synchronisés que pour 12 % des occlusives du corpus. Cette synchronisation est plus fréquente pour les occlusives voisées que pour les occlusives non voisées quel que soit la condition d'enregistrement Off ou On.
- Lorsque les évènements aérodynamiques ne sont pas synchronisés, il est plus fréquent que le Dab commence à augmenter avant que la Pio ne commence à diminuer plutôt que l'inverse.

*Pour résumer...*

L'observation des données aérodynamiques et temporelles montrent que les parkinsoniens réalisent des occlusives /p/ et /b/ présentant les caractéristiques de Pio et de durée propres à la distinction du voisement en français et ce quels que soient le traitement et la condition d'enregistrement. En effet, pour les occlusives de notre corpus la tendance générale répond aux critères de distinction du voisement du français; la durée de la tenue de l'occlusion est plus longue pour les occlusives non voisées que pour les voisées et la Pio est plus importante pour les occlusives non voisées que pour les voisées. Nous pouvons affirmer que les dysfonctionnements perturbant les occlusives ne sont pas liés à des difficultés de distinction du voisement. D'autre part, les résultats rendent compte de certains effets des traitements sur la production des occlusives. Pour le groupe des parkinsoniens SST nous avons observé une augmentation du pic de Pio ainsi qu'une augmentation de la Pio moyenne en condition On. Nous pouvons faire l'hypothèse d'un gain en intelligibilité de la production des occlusives grâce à cette affluence de la pression intra-orale derrière le point d'articulation sous l'effet du traitement. L'observation du Dab ne révèle aucune information particulière quant à l'influence potentielle du traitement. Par contre, la quantification du Dab pendant la tenue de l'occlusion permet de constater que la fuite d'air n'est pas une erreur articulaire récurrente chez les parkinsoniens puisqu'elle n'apparaît que de façon ponctuelle. L'observation de la synchronisation des événements aérodynamiques nous permet de constater l'existence d'un problème de coordination. En effet, pour 88 % des occlusives du corpus, au relâchement de l'occlusion ou en fin de phase de tenue de l'occlusion, le début de l'augmentation du Dab et le début de la diminution de la Pio n'ont pas lieu en même temps. Il est plus fréquent que le Dab commence à augmenter avant le début de l'augmentation de la Pio mais l'inverse est un cas de figure assez fréquent également. Dans le chapitre qui suit, l'observation des données acoustiques vient compléter la description des occlusives parkinsoniennes.

## CHAPITRE VI

### Résultats / Données acoustiques

Nous pensons que l'observation des données acoustiques est une étape qui vient compléter l'analyse des données aérodynamiques dans notre projet de description de la production des consonnes occlusives en contexte de maladie de Parkinson. Afin de respecter les échéances de cette étude, une partie de l'analyse acoustique ne concerne que les occlusives en contexte vocalique /a/, nous avons donc visualisé les spectrogrammes correspondants aux répétitions des dissyllabes /apa/ et /aba/ pour chacun des 10 parkinsoniens. Dans un premier temps, nous avons repéré différents indices sur le spectrogramme nous permettant de rendre compte des caractéristiques acoustiques de l'occlusive. Nous avons ainsi évalué le voisement, la barre d'explosion et l'intervalle silencieux de l'occlusive. Dans un second temps, nous avons mis en corrélation nos constatations et une transcription phonétique des répétitions afin d'examiner dans quelle mesure ce qui a été réalisé correspond à ce qui a été perçu. Nous pensons que ces dernières considérations contribuent à la description de la production des occlusives parkinsoniennes.

## I. Recueil des données acoustiques

Afin d'observer les données acoustiques, nous avons utilisé le même logiciel qui nous a permis de visualiser précédemment les données aérodynamiques, c'est-à-dire le logiciel Phonédit. Nous avons examiné les spectrogrammes des répétitions des dissyllabes /apa/ et /aba/ pour les 10 parkinsoniens dans les deux conditions d'enregistrement Off et On. Pour chaque répétition, nous avons observé le voisement, la barre d'explosion et l'intervalle silencieux de l'occlusive. Pour apprécier le voisement nous avons reconduit la méthode de Snoeren et al. In press, 2005. Les auteurs observent la production de parole et ses phénomènes liés aux conditions de la coarticulation chez des sujets francophones. Ils proposent une méthode objective pour quantifier le phénomène d'assimilation régressive qui perturbe le voisement des occlusives en position finale de mot, ils calculent "l'index du degré d'assimilation" à partir des mesures de durées de la phase d'occlusion et de l'intervalle voisé à l'intérieur de la phase d'occlusion. La phase d'occlusion est déterminée: le début de l'occlusion commence à la fin de la voyelle précédente, signalée à la fois par une chute abrupte de l'amplitude du signal acoustique et par l'arrêt des formants vocaliques et la fin de l'occlusion est marquée par la barre d'explosion. A l'intérieur de cet intervalle d'occlusion la présence de voisement est observée; le voisement se termine lorsque plus aucun bruit de voisement n'est distinguable (voir figure 78).

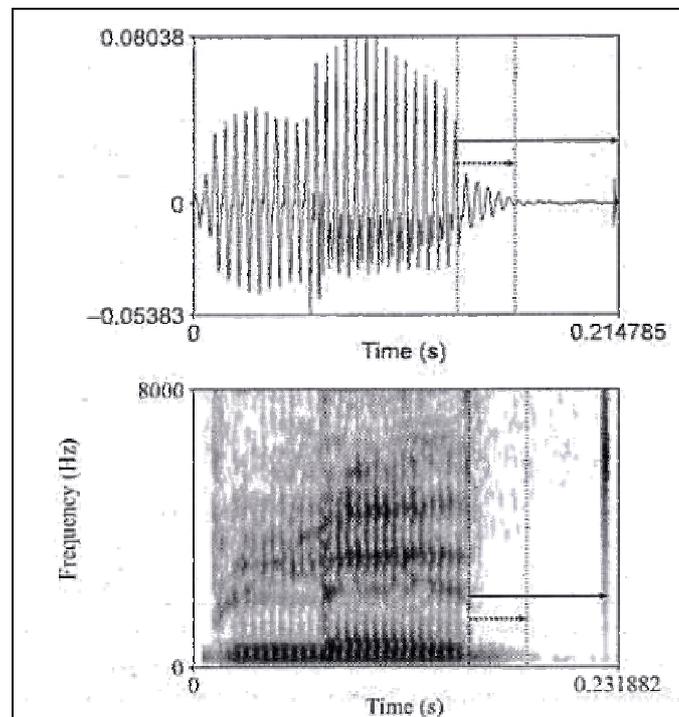
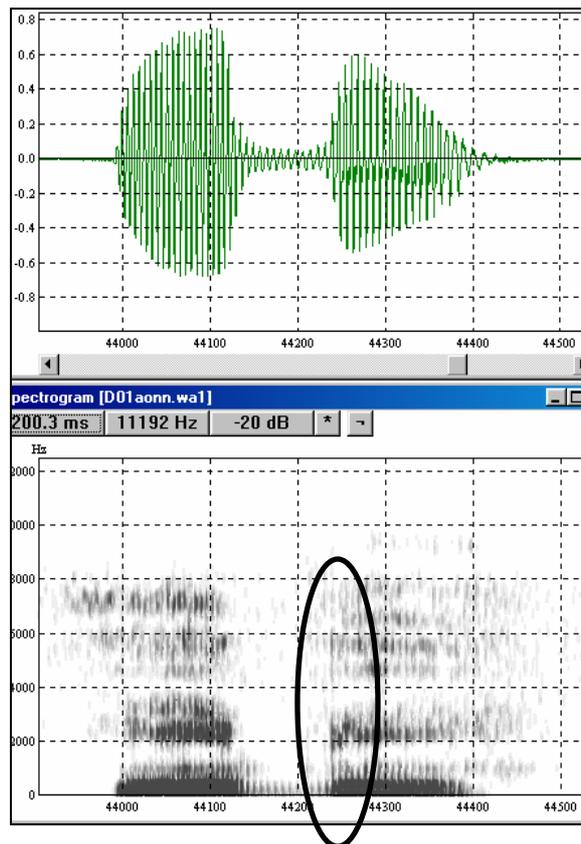


Figure 83: Trace de voisement par assimilation incomplète sur l'occlusive /t/ dans le mot "blette" d'après Snoeren et al. In press, 2005.

Pour la production d'une occlusive voisée, le voisement doit occuper toute la durée de la phase d'occlusion et pour la production d'une occlusive non voisée aucun bruit de voisement ne doit être perceptible durant la phase d'occlusion. Ainsi idéalement, le rapport de la durée de voisement sur la durée de l'occlusion est égal à 1 pour les occlusives voisées et à 0 pour les occlusives non voisées. Nous avons procédé de cette même façon, mais, pour notre étude, ce rapport ne correspond pas à "l'index du degré d'assimilation" mais à un index de voisement des consonnes non voisées lorsqu'il est supérieur à 0 pour les consonnes non voisées, ou à un index de dévoisement des consonnes voisées lorsqu'il est inférieur à 1 pour les consonnes voisées. Dans un second temps, nous avons noté la présence ou l'absence de la barre d'explosion sur le spectrogramme pour chaque répétition. Lorsque la barre d'explosion est présente, nous avons évalué son aspect; la barre d'explosion est notée "normale" ou "très faible". Elle est jugée très faible lorsqu'elle est à peine visible comme c'est le cas sur la figure 79.



**Figure 84: Barre d'explosion jugée très faible, 7<sup>o</sup> répétition de [ibi] chez le sujet d01 en condition On**

Nous avons également observé le phénomène de "recouvrement" de la barre d'explosion par du bruit de friction. La barre d'explosion est notée fricative lorsqu'elle présente du bruit dans les hautes fréquences comme cela est illustré par la figure 80. En troisième lieu, nous avons observé l'intervalle silencieux; il est noté fricatif lorsque la présence de bruits dans les hautes

fréquences est relevée. La figure 81 illustre ce phénomène. Pour certaines répétitions, le bruit de friction peut être présent pendant l'occlusion et au relâchement de l'occlusion (figure 82). Nous avons également relevé certaines caractéristiques qui apparaissent de façon plus occasionnelle; des occlusives voisées dont la barre de voisement montre des discontinuités (figure 83), des occlusives dont la tenue de l'occlusion est remplie par du bruit à structure formantique (figure 84), des occlusives dont la barre de voisement est à peine visible (figure 85).

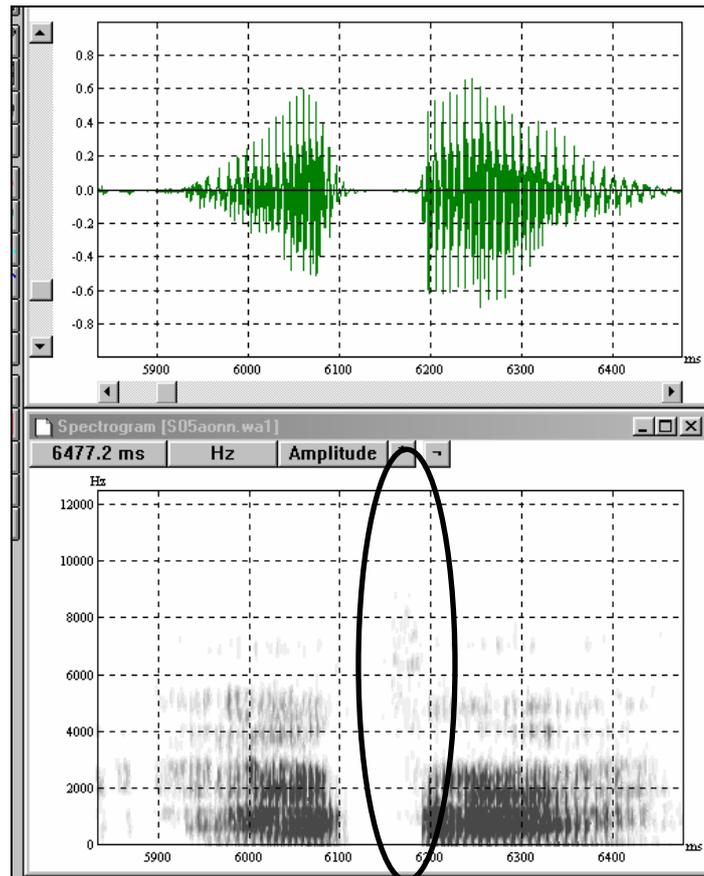


Figure 85: Barre d'explosion recouverte par du bruit de friction, 5<sup>o</sup> répétition de [apa] chez s05 en condition On

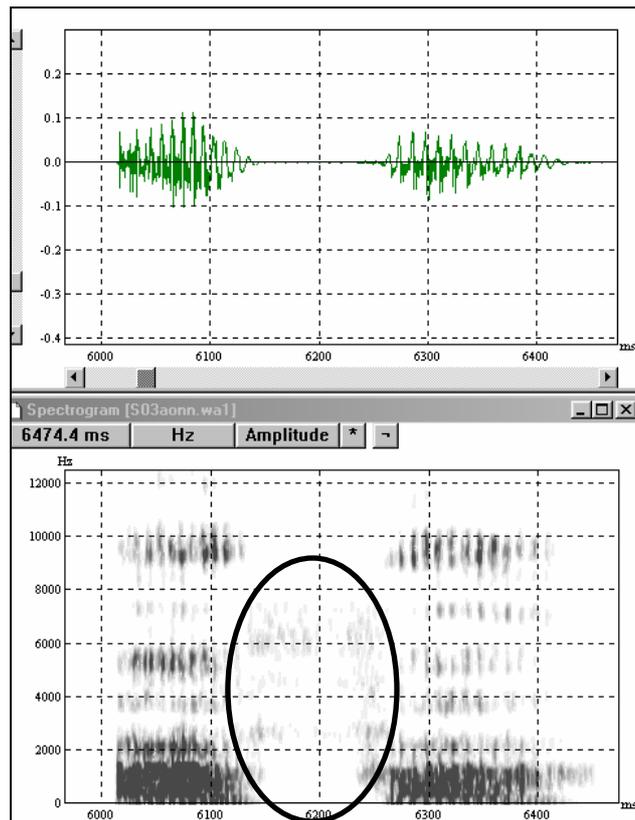


Figure 86: bruit de friction pendant la tenue de l'occlusion, 2<sup>o</sup> répétition de [apa] chez le sujet s03 en condition On

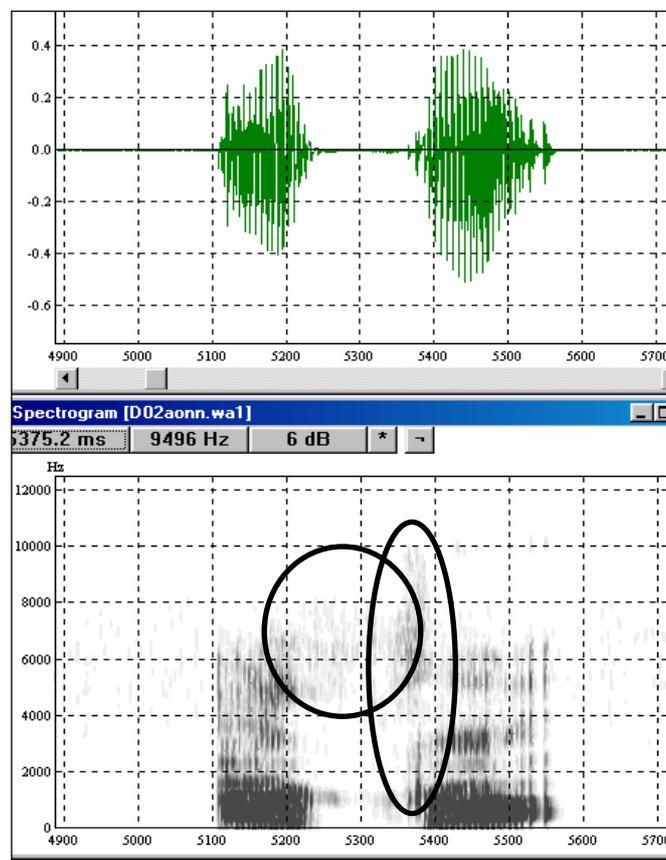


Figure 87: Barre d'explosion jugée fricative avec présence de bruit de friction pendant la tenue de l'occlusion, 2<sup>o</sup> répétition de [apa] chez le sujet d02 en condition On

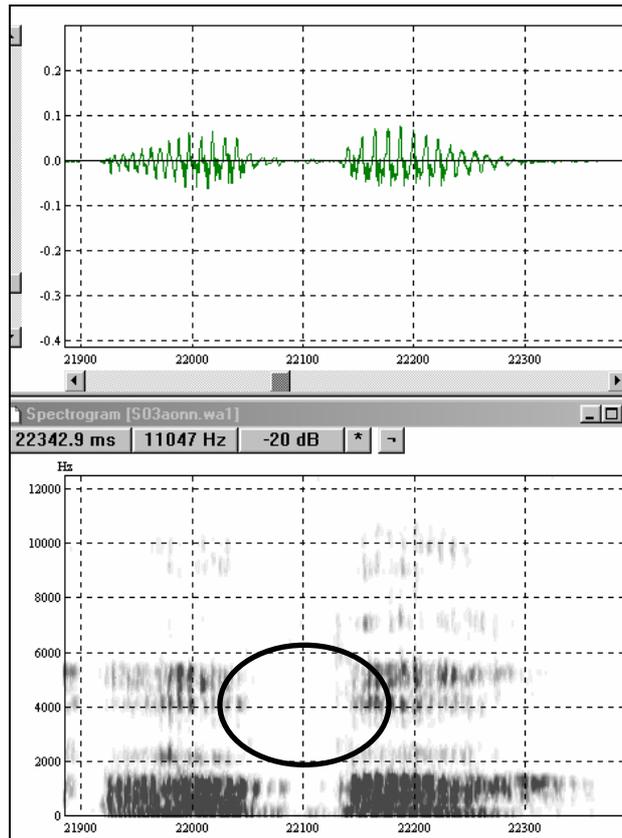


Figure 88: cas de perte et de reprise du voisement pendant la phase de tenue, 5<sup>e</sup> répétition de [aba] chez le sujet s03 en condition On

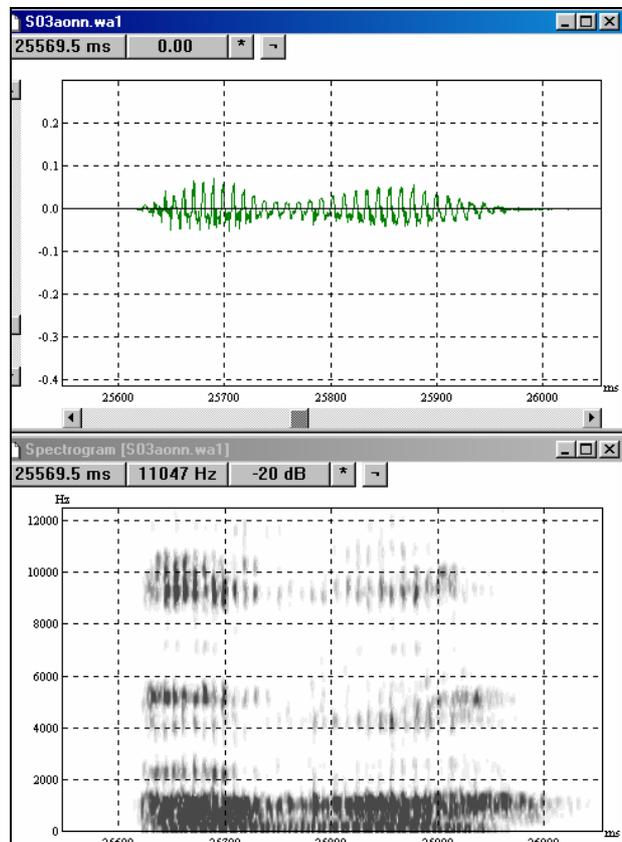


Figure 89: structure formantique présente pendant la tenue de l'occlusion, 8<sup>e</sup> répétition de [aba] chez le sujet s03 en condition On

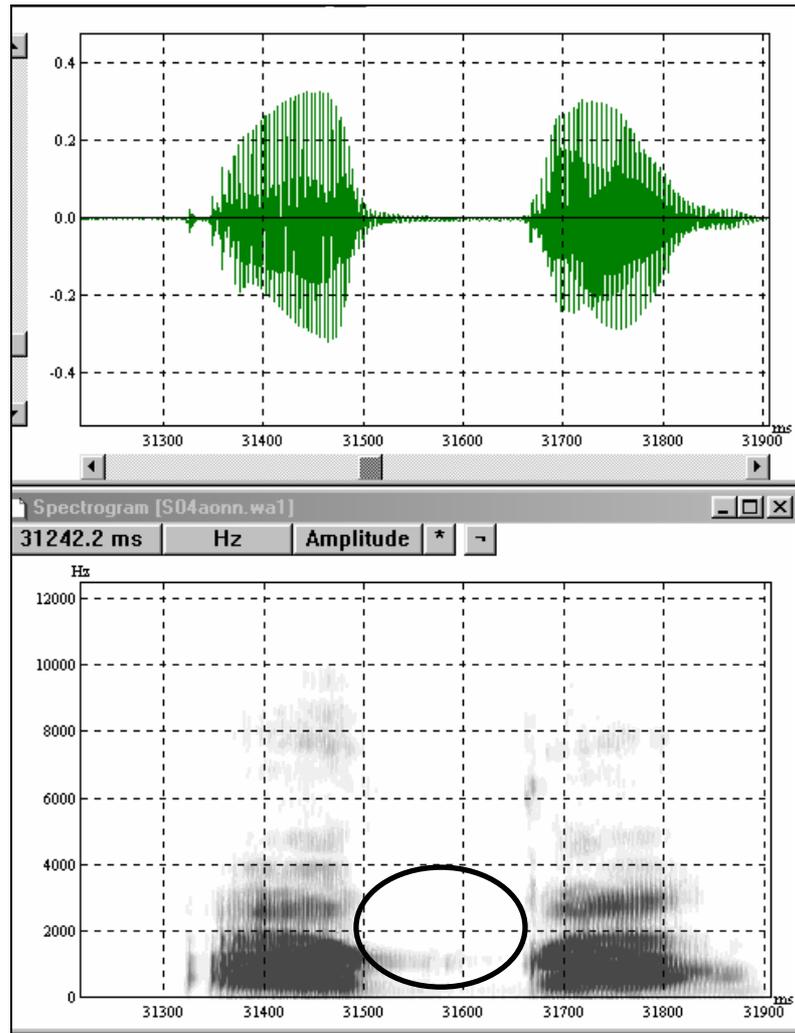


Figure 90: Barre de voisement très faible pendant la phase d'occlusion, 3<sup>o</sup> répétition de [aba]

## **II. Le voisement pendant la tenue : indice acoustique de l'opposition /p/ ~ /b/**

Le tableau de calcul de l'indice de voisement pour les répétitions de [apa] et de [aba] pour chacun des 10 sujets et pour les deux conditions d'enregistrement est disponible en annexe (Annexe 10).

### **II.1. Le voisement pendant la tenue de l'occlusion pour les occlusives non voisées**

Les résultats montrent que les occlusives non voisées présentent toutes, sans exception, un voisement persistant pendant une partie de la tenue de l'occlusion. Ce voisement peut représenter une portion de la tenue de l'occlusion plus ou moins importante. Il représente au minimum 5 % de la durée de la tenue de l'occlusion et peut atteindre 100 % pour certaines répétitions de [apa]. Dans le détail, sur un total de 227 répétitions de [apa] 33 répétitions (15,5 %) sont produites avec un voisement qui représente entre 5 et 10 % de la durée de la tenue, 123 répétitions (54,2 %) entre 11 et 20 %, 51 répétitions (22,5 %) entre 21 et 30 %, 15 répétitions (6,6 %) entre 31 et 40 %, 2 répétitions entre 41 et 50 % et enfin, 3 répétitions avec 100 % de voisement. Ces 3 répétitions sont produites par le sujet s05 On. La figure 9 est la représentation graphique du pourcentage moyen de voisement pendant la tenue de l'occlusion pour les répétitions de [apa] en condition On et en condition Off. Cette représentation nous permet de visualiser le fait que la durée du voisement qui touche les occlusives non voisées est inférieure à 20 % de la durée de la tenue pour la majorité des sujets. Par contre les trois sujets s03, s04 et s05 sont ceux qui produisent les occlusives non voisées présentant le plus grand pourcentage de voisement; toutes leurs productions de /p/ présentent plus de 20 % de voisement. Le sujet S05 se détache du groupe; il produit des occlusives non voisées avec en moyenne une durée de voisement qui représente 30 % de la durée de la tenue en condition Off et 45 % de la durée de la tenue en condition On. Pour s05 en On, l'écart type témoigne de la forte variabilité de la durée de ce voisement, en effet ce sujet peut produire des répétitions de [apa] avec un voisement de 100 % (figure 10) comme c'est le cas pour 3 répétitions sur 12 et d'autres répétitions avec un voisement de 20 % (figure 86) comme c'est le cas pour 3 répétitions sur 12 également.

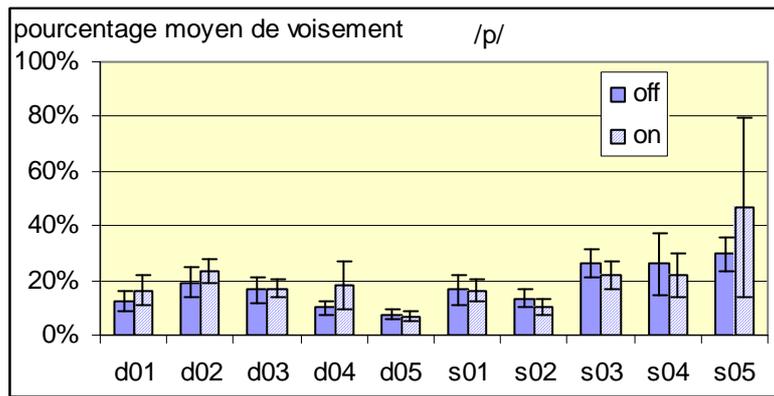


Figure 91: Représentation graphique du pourcentage moyen de voisement pour /p/ en condition Off et en condition On pour chaque sujet

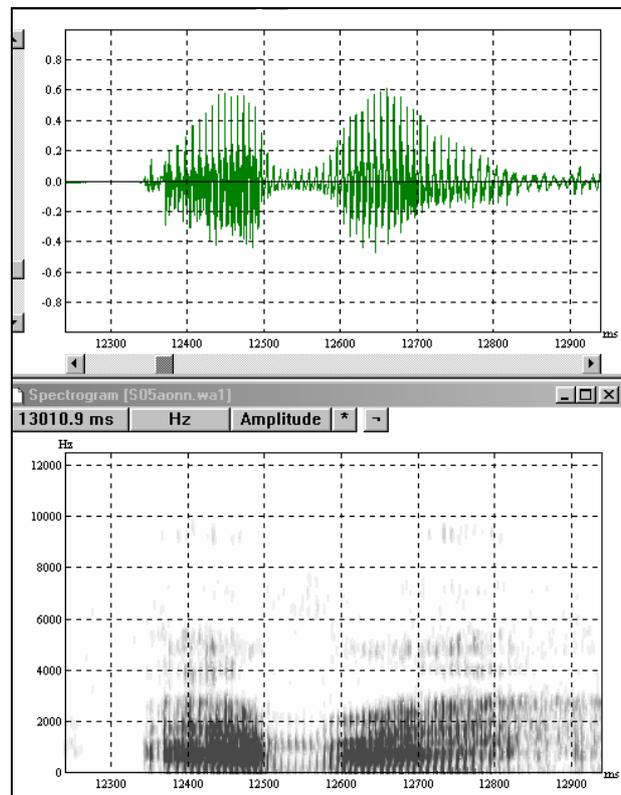


Figure 92: Occlusive non voisée avec une durée de voisement représentant 100 % de la durée de la tenue, 10° répétition de [apa] chez le sujet s05 en On

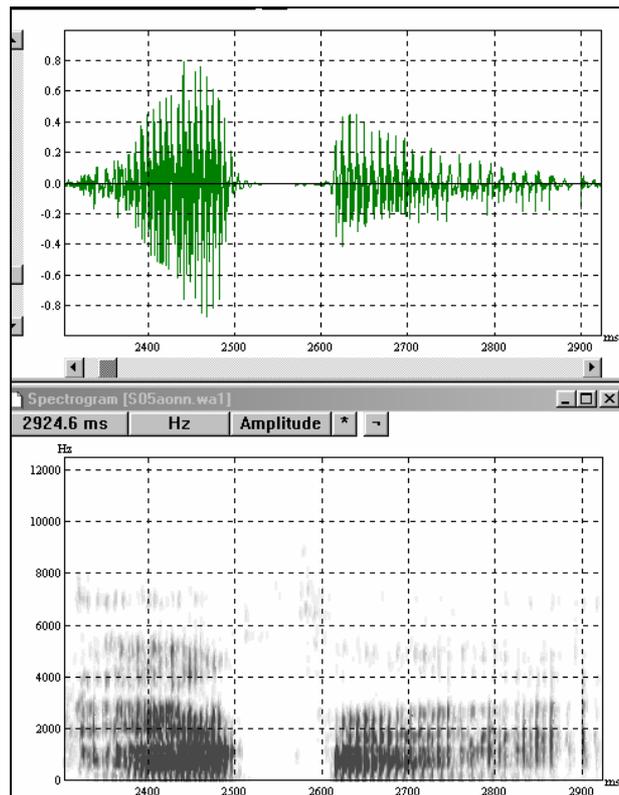
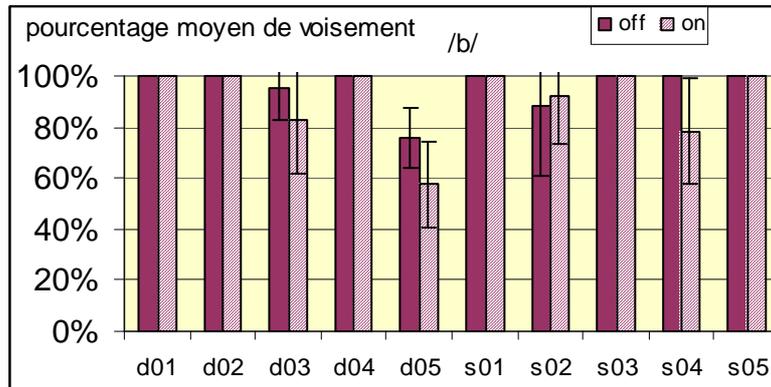


Figure 93: Occlusive non voisée avec une durée de voisement représentant 20 % de la durée de la tenue, 2<sup>o</sup> répétition de [apa] chez le sujet s05 en On

## II.2. Le voisement pendant la tenue de l'occlusion pour les occlusives voisées

Les résultats montrent que 6 sujets sur 10 ne présentent pas de problème de voisement pour les répétitions de [aba] observées, ni en condition Off ni en condition On. En effet ils ne produisent que des occlusives voisées dont le voisement occupe toute la durée de la tenue de l'occlusion. Pour ces 6 sujets l'indice de voisement est égal à 1 pour toutes les répétitions de [aba] en condition Off et en condition On, ce qui signifie que la durée de la tenue de l'occlusion est égale à la durée du voisement. Pour les 4 autres sujets (d03, d05, s02 et s04) certaines répétitions, c'est-à-dire 39 occurrences sur les 228 observées (17,1 %), présentent un voisement qui n'est pas réalisé sur toute la durée de la tenue de l'occlusion. Le sujet d03 a produit 2 (sur 12) occlusives voisées partiellement dévoisées en condition Off et 6 (sur 12) occlusives voisées partiellement dévoisées en condition On. Le sujet d05 a produit toutes ses occlusives voisées exceptée une (la première) de façon partiellement dévoisée en condition Off et a fait de même en condition On. Le sujet s02 a produit 2 (sur 11) occlusives voisées partiellement dévoisées en condition Off et 2 (sur 12) occlusives voisées partiellement dévoisée en condition On. Le sujet s04 a produit 7 occlusives (sur 12) de façon partiellement dévoisée en condition On alors que toutes ces répétitions de [aba] ne montraient aucun problème de voisement en condition Off. La figure 89 permet de visualiser le pourcentage

moyen de voisement pour /b/ pour chaque sujet dans les deux conditions d'enregistrement. Le dévoisement de /b/ peut être plus ou moins important.



**Figure 94: Représentation graphique du pourcentage moyen de voisement pour /b/ en condition Off et en condition On pour chaque sujet**

Le voisement occupe 100 % de la durée de la tenue de l'occlusion pour la majorité des occlusives voisées; pour 82,9 % des /b/ produits. Le voisement représente entre 81 et 90 % pour 3 occlusives voisées, entre 71 et 80 % pour 9 répétitions, entre 61 et 70 % pour 9 répétitions, entre 51 et 60 % pour 10 répétitions, entre 41 et 50 % pour 6 répétitions, entre 31 et 40 % pour 1 seule répétition et entre 21 et 30 % pour 1 seule répétition également. Donc, lorsque l'occlusive voisée est dévoisée, il est rare que le voisement occupe moins de 40 % de la durée de la tenue de l'occlusion. D'autre part, aucune occlusive voisée n'est totalement dévoisée. La plupart des occlusives voisées partiellement dévoisées se présentent comme celle de la figure 90. Cependant, le sujet s02 Off a produit l'occurrence qui présente le plus petit pourcentage de voisement (26 %). Comme nous pouvons le constater à la figure 91, ce dévoisement quasi-total s'accompagne de bruits de friction pendant l'occlusion.

Chapitre VI  
Résultats / Données acoustiques

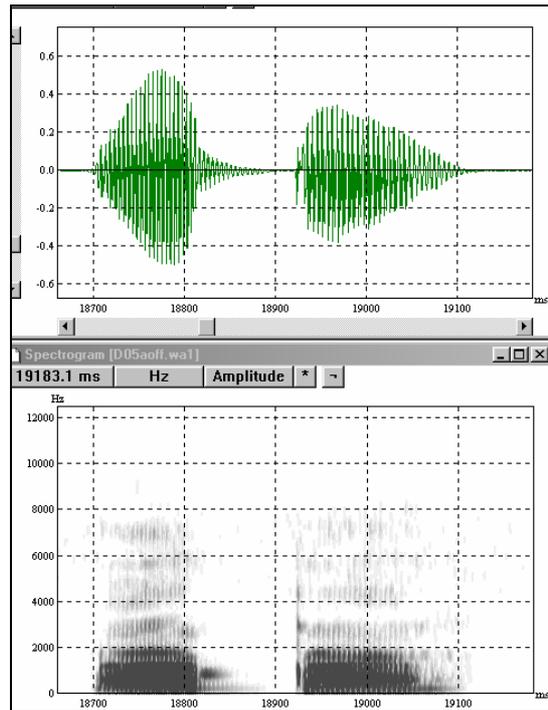


Figure 95: Occlusive voisée partiellement dévoisée, 4<sup>o</sup> répétition de [aba] chez d05 On

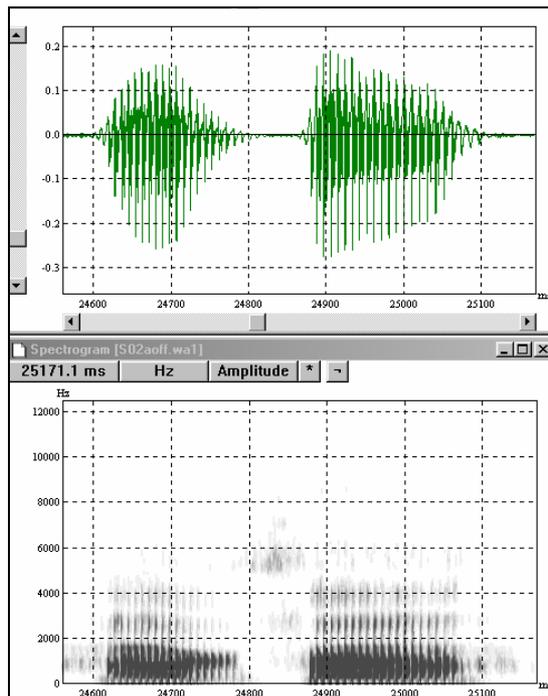


Figure 96: Occlusive voisée dévoisée et fricative, 9<sup>o</sup> répétition de /b/ chez le s02 Off

### III. La barre d'explosion : indice acoustique du relâchement d'une occlusion

Nos observations montrent que certaines répétitions de /p/ et de /b/ sont réalisées sans barre d'explosion puisque en moyenne, selon nos calculs, 20 % des occlusives sont réalisées sans barre d'explosion. Si l'on observe le pourcentage d'occlusives produites avec une barre d'explosion pour toutes les occlusives produites par les 10 sujets (figure 92), on obtient 90 % des /p/ et 76 % des /b/ en condition Off et 88 % des /p/ et 65 % des /b/ en condition On. Les occlusives voisées sont donc moins souvent réalisées avec une barre d'explosion que les occlusives non voisées et les occlusives sont plus souvent réalisées avec une barre d'explosion en condition Off qu'en condition On.

Off	/p/	90%
	/b/	76%
On	/p/	88%
	/b/	65%

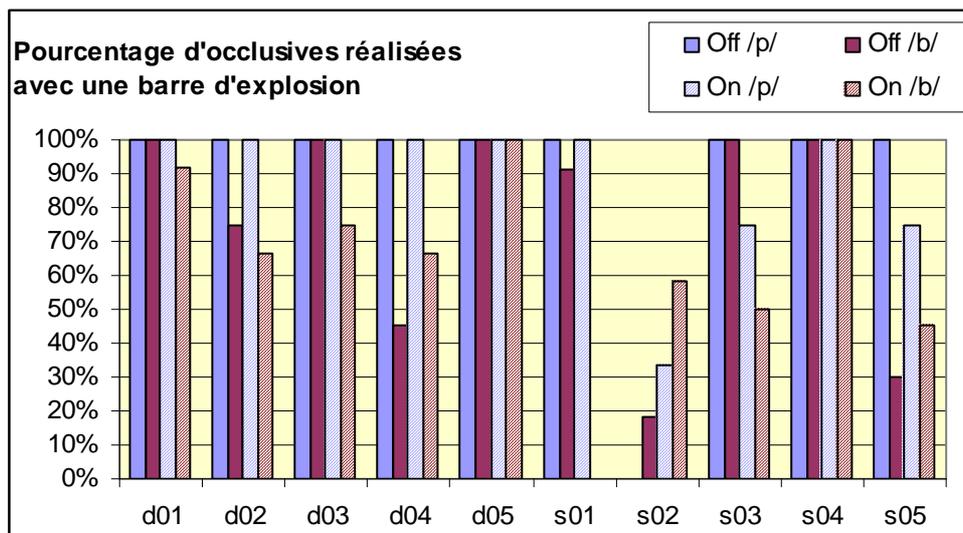
**Figure 97: Pourcentage total d'occlusives produites avec une barre d'explosion, tous sujets confondus en condition Off et On**

Ce pourcentage tient compte des barres d'explosion apparaissant de façon très faible sur le spectrogramme telles que sur la figure 2. Ce type de barre d'explosion jugée faible est un phénomène très répandu qui représente 21,3 % de la totalité des occlusives produites et 79,8 % des occlusives produites avec une barre d'explosion. Dans le détail, sont réalisés avec une faible barre d'explosion en condition Off 11,8 % des /p/ et 16,4 % des /b/ et en condition On 26,5 % des /p/ et 29,7 % des /b/. Ces pourcentages qui sont récapitulés à la figure 93 permettent de faire la remarque suivante: ce sont plus souvent les occlusives voisées qui sont réalisées avec une barre d'explosion faible que les occlusives non voisées et le plus souvent en condition On par rapport à la condition Off.

Off	/p/	11,8%
	/b/	16,4%
On	/p/	26,5%
	/b/	29,7%

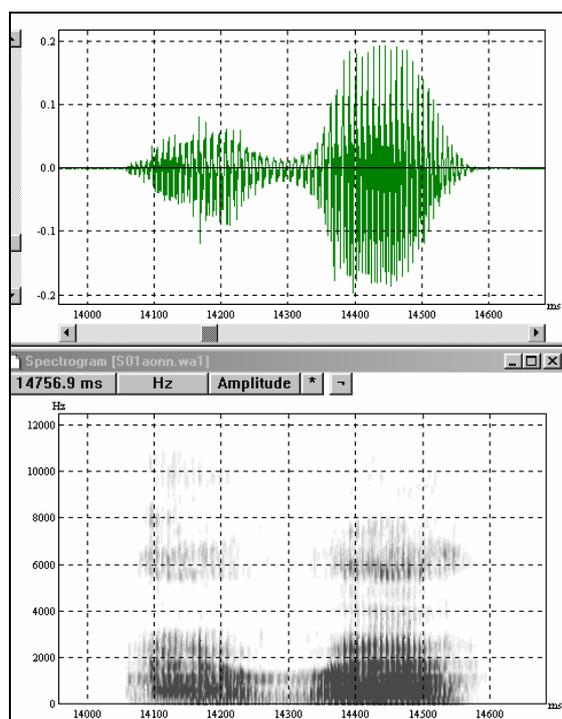
**Figure 98: Pourcentage d'occlusives produites avec une barre d'explosion jugée faible, tous sujets confondus en condition Off et On**

Nous pouvons observer les faits de façon plus détaillée grâce à la représentation graphique du pourcentage d'occlusives réalisées avec une barre d'explosion pour chaque sujet en condition Off et en condition On (figure 94).



**Figure 99: Représentation graphique du pourcentage d'occlusives réalisées avec une barre d'explosion pour chaque sujet en Off et en On**

Pour certains sujets, l'absence de la barre de voisement apparaît de façon plus ou moins occasionnelle, c'est le cas pour les /b/ pour le sujet d01 en condition On par exemple, qui produit 92 % des /b/ avec une barre d'explosion, en fait ce pourcentage renvoie au fait que d01 a produit une occlusive sur 12 sans barre d'explosion, ce phénomène apparaît être "accidentel" pour ce sujet. Par contre pour d'autres, la production d'occlusives sans barre d'explosion est un phénomène récurrent, c'est le cas pour le sujet s01 qui produit toutes les répétitions de [aba] sans barre d'explosion mais seulement en condition On. En effet ses productions sont toutes similaires à celle proposée à la figure 95.



**Figure 100: Occlusive réalisée sans barre d'explosion, 1<sup>o</sup> répétition de /b/ chez le sujet s01 On**

Le sujet s02 aussi présente de nombreuses occurrences de /p/ et de /b/ produites sans barre d'explosion, ainsi que le sujet s03 mais seulement en condition On et le sujet s05 mais surtout pour l'occlusive voisée.

#### IV. La présence de bruits de friction pendant la tenue

La présence de bruit de friction pendant la tenue de l'occlusive indique que les articulateurs ne sont pas en position d'occlusion totale mais qu'ils réalisent une constriction. Ce point de constriction est traversé par un flux d'air qui produit le bruit de friction visible dans les hautes fréquences sur l'oscillogramme. Nous avons observé ce phénomène (figure 4) très fréquemment lors de notre travail de segmentation et d'étiquetage du corpus. Contrairement à nos attentes, les résultats montrent que la présence de bruits de friction pendant la tenue de l'occlusion est assez occasionnelle puisqu'elle n'apparaît que pour 14 % des occlusives produites en moyenne, et qu'elle ne concerne pas tous les sujets. Le phénomène de présence de bruit de friction pendant la tenue de l'occlusion concerne 10 % des /p/ et 7 % des /b/ en condition Off et 22 % des /p/ et 16 % des /b/ en condition On. Ces pourcentages reportés dans le tableau ci-dessous (figure 96) montrent que ce sont les occlusives non voisées qui sont le plus fréquemment produites avec du bruit de friction pendant la tenue par rapport aux occlusives voisées et le plus souvent en condition On par rapport à la condition Off.

Off	/p/	10%
	/b/	7%
On	/p/	22%
	/b/	16%

**Figure 101: Pourcentage d'occlusives réalisées avec du bruit de friction pendant la tenue de l'occlusion**

La représentation graphique du pourcentage d'occlusives réalisées avec du bruit de friction pendant la tenue pour chaque sujet en condition Off et en condition On (figure 97) montre que ce phénomène apparaît de façon plus ou moins fréquente selon les sujets, l'occlusive et la condition d'enregistrement. Les occlusives réalisées avec du bruit de friction pendant l'occlusion ne sont produites que par 6 sujets et, pour les sujets s04 et s05 elles semblent assez occasionnelles. Le phénomène de bruit de friction pendant la tenue de l'occlusion est effectif chez le sujet d02 en condition On pour 100 % des occlusives non voisées et 75 % des occlusives voisées, chez le sujet s01 pour 9 % des occlusives voisées en Off et 55 % des occlusives voisées en On, chez le sujet s02 pour 100% des occlusives non voisées et 64 % des occlusives voisées en Off pour 67 % des occlusives non voisées et 17 % des occlusives voisées en condition On, chez le sujet s03 en condition On pour 25 % des occlusives non voisées et 17 % des occlusives voisées, chez le sujet s04 en condition On pour 8% des

occlusives non voisées et enfin chez le sujet s05 en condition On pour 17 % des occlusives non voisées.

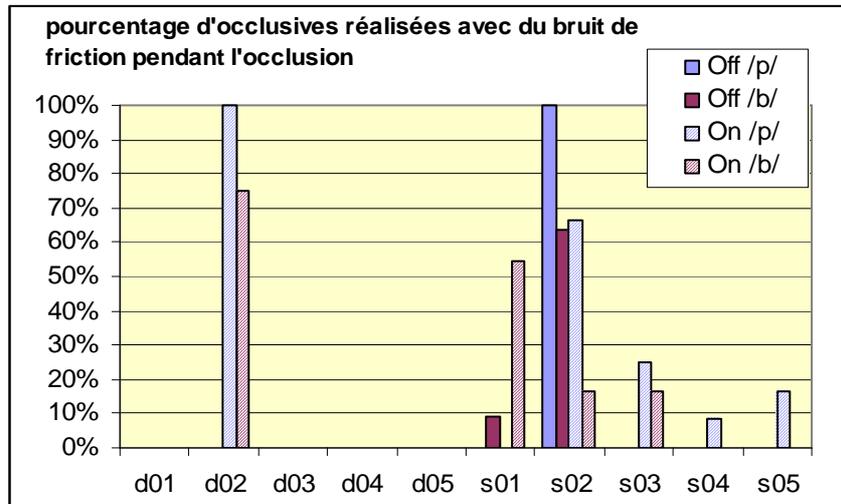


Figure 102: Représentation graphique du pourcentage d'occlusives réalisées avec du bruit de friction pendant l'occlusion

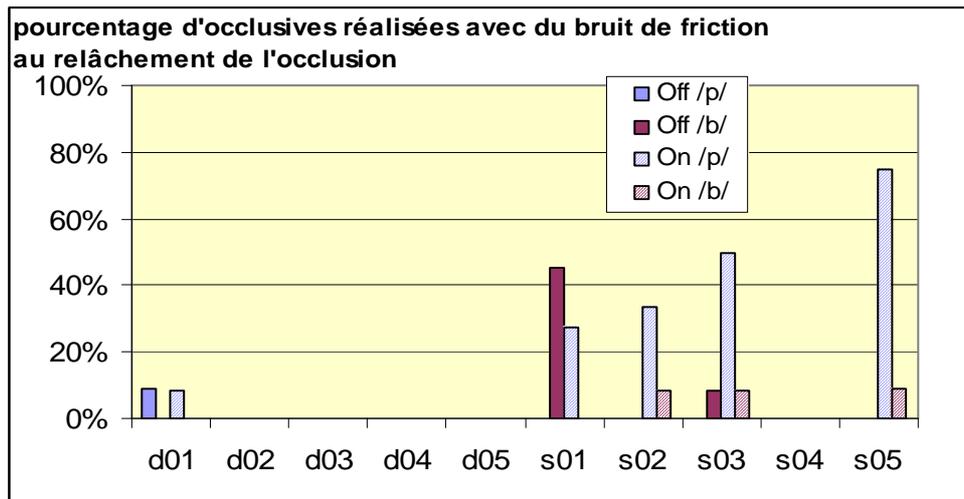
## V. La présence de bruit de friction au relâchement de l'occlusion

Lorsque le relâchement du point d'occlusion de la part des articulateurs est réalisé de façon partielle la barre d'explosion est recouverte par du bruit de friction, visible sur l'oscillogramme dans les hautes fréquences. Dans ce cas, le flux d'air est relâché mais rencontre une constriction sur son passage et produit du bruit fricatif. La constriction peut être le résultat soit d'un manque d'ampleur du geste d'aperture au relâchement de l'occlusion qui reste étroite, soit d'un manque de rapidité du geste d'aperture au relâchement de l'occlusion qui ne se réalise pas assez rapidement. Nous avons comptabilisé le nombre d'occurrences réalisées de cette façon. Les résultats montrent que, en moyenne, 7 % des occlusives produites présentent du bruit de friction au relâchement de l'occlusion. Ce phénomène de bruit de friction au relâchement de l'occlusion concerne en condition Off 1 % des /p/ et 5 % des /b/ et en condition On 19 % des /p/ et 3 % des /b/. Ces pourcentages sont récapitulés à la figure 98.

Off	/p/	1%
	/b/	5%
On	/p/	19%
	/b/	3%

**Figure 103: Pourcentage d'occlusives produites avec du bruit de friction au relâchement de l'occlusion**

Seulement 5 sujets produisent des occlusives avec relâchement de l'occlusion de façon fricative telle que sur la figure 3. La représentation graphique du pourcentage d'occlusives produites avec du bruit de friction au relâchement de l'occlusion (figure 99) permet de visualiser le fait que ce phénomène apparaît chez le sujet d01 pour les occlusives non voisées seulement, pour 9 % en Off et 8 % en On, chez le sujet s01 pour 45 % des /b/ en condition Off et 27 % des /p/ en condition On, chez le sujet s02 en condition On seulement pour 33 % des /p/ et 8 % des /b/, chez le sujet s03 pour 8% des /p/ en Off, et pour 50 % des /p/ et 8 % des /b/ en On, et enfin chez le sujet s05 en condition On uniquement pour 75 % des /p/ et 9 % des /b/.



**Figure 104: Représentation graphique du pourcentage d'occlusives réalisées avec du bruit de friction au relâchement de l'occlusion pour chaque sujet en condition Off et On**

## **VI. Quels renseignements sont donnés par la transcription phonétique ?**

Lorsque le point d'articulation des occlusives bilabiales /p/ et /b/ est conservé mais que le mode articulaire ne l'est pas nous nous attendons à la réalisation des fricatives bilabiales non voisées [ɸ] ou voisées [β] qui ne font pas partie du système phonologique français. Lorsque ni le mode articulaire ni le point d'articulation ne sont conservés, et que ce dernier recule dans la cavité buccale, nous nous attendons à la production des fricatives labiodentales non voisées /f/ ou voisées /v/ qui font partie du système phonologique français, dans ce cas nous pouvons parler de processus de spirantisation avec changement de l'identité du phonème. L'auditeur a procédé à la transcription phonétique de tout le corpus, c'est-à-dire des répétitions de [apa], [ipi], [aba] et [ibi] en prenant en compte également les répétitions réalisées en surnombre par les sujets. Le tableau ci-dessous (tableau 3) rapporte le pourcentage d'occlusives transcrites par les différents symboles utilisés lors de la transcription.

Chapitre VI  
Résultats / Données acoustiques

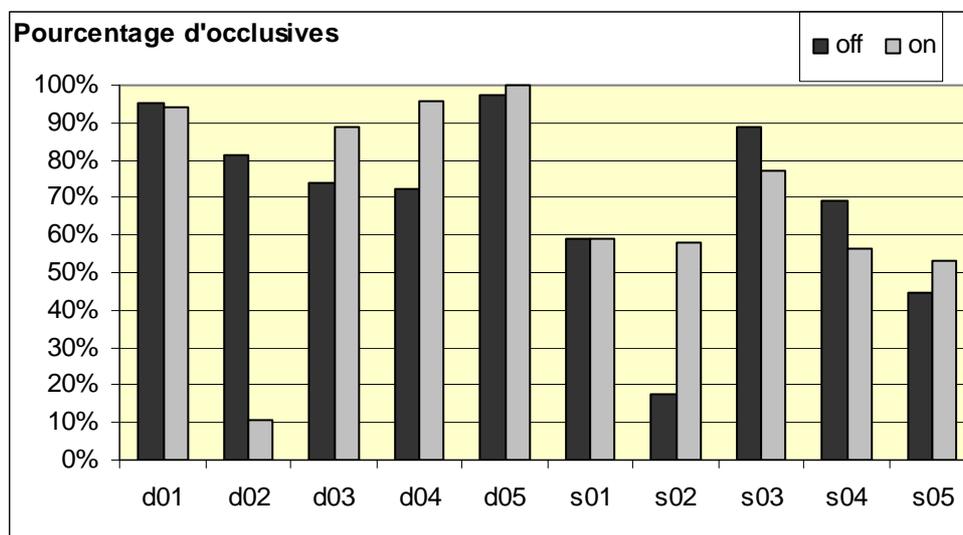
occlusive cible		/p/						/b/					
transcription		[p]	[f]	[ϕ]	[t]	[pw]	[p]	[b]	[v]	[β]	[βw]	[w]	[d]
d01	off	95%				5%		95%		5%			
	on	96%					4%	92%		8%			
d02	off	100%						63%		33%		4%	
	on	17%	83%					4%	88%	4%			4%
d03	off	87%		13%				61%	4%	35%			
	on	100%						78%		22%			
d04	off	90%		5%	5%			55%	9%	36%			
	on	100%						92%		8%			
d05	off	95%			5%			100%					
	on	100%						100%					
s01	off	96%			4%			22%		57%	17%	4%	
	on	95%		5%				23%	29%	43%		5%	
s02	off	35%	43%	22%				0%	82%	18%			
	on	83%		17%				33%		67%			
s03	off	86%			14%			92%		8%			
	on	76%		24%				78%		22%			
s04	off	78%	19%		3%			60%	27%	13%			
	on	50%	38%	4%	8%			63%	29%	8%			
s05	off	72%	14%	14%				17%	9%	74%			
	on	74%	26%					32%	30%	38%			

Tableau 3: Synthèse de la transcription; pourcentage d'occurrences pour chaque sujet en condition Off et On

Nous pouvons ajouter différentes remarques qui ne figurent pas dans le tableau:

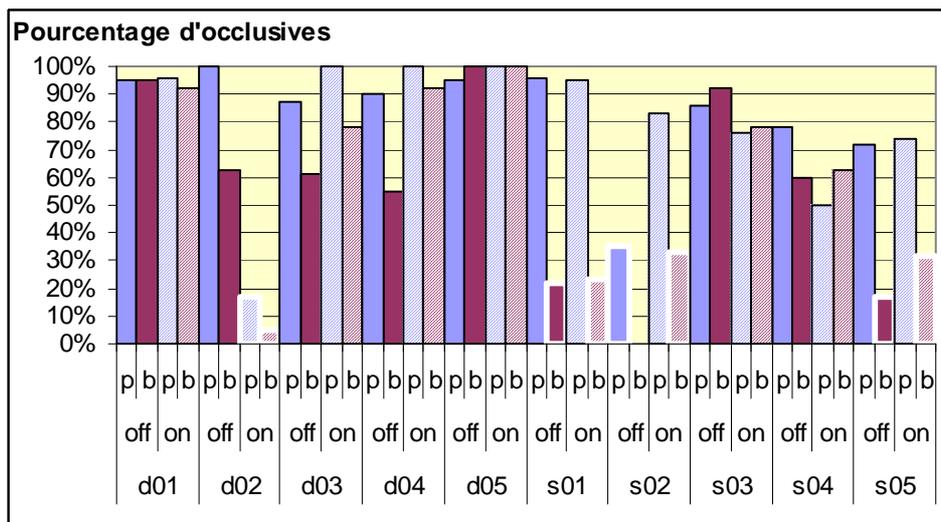
- 81 % des occlusives non voisées réalisées sont transcrites par le symbole /p/ qui correspond à l'occlusive cible, bilabiale non voisée.
- 58 % des occlusives voisées réalisées sont transcrites par le symbole /b/ qui correspond à l'occlusive cible, bilabiale voisée.
- En condition Off, 70 % des occlusives réalisées sont transcrites par le symbole de l'occlusive cible (83 % des /p/ et 57 % des /b/).
- En condition on, 69 % des occlusives réalisées sont transcrites par le symbole de l'occlusive cible (79 % des /p/ et 60 % des /b/).
- Le pourcentage d'occlusives transcrites par le symbole de l'occlusive cible non voisée /p/ ou voisée /b/ présente une grande variabilité selon les sujets.

Le pourcentage d'occlusives transcrites par le symbole correspondant à l'occlusive cible permet de définir le pourcentage d'intelligibilité. La figure 100 représente le pourcentage d'intelligibilité pour chacun des sujets (/p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus) selon la condition d'enregistrement. Nous ne disposons pas du traitement statistique des données mais l'intelligibilité augmente en condition On par rapport à la condition Off pour 5 sujets (d03, d04, d05, s02 et s05).



**Figure 105: Représentation graphique du pourcentage d'occlusives reconnues comme occlusives cibles ou pourcentage d'intelligibilité pour chaque sujet, /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus, selon la condition d'enregistrement**

La figure 101 nous permet de constater la grande variabilité inter-sujet du pourcentage d'occlusives transcrites par le symbole de l'occlusive cible ou pourcentage d'intelligibilité.



**Figure 106: Représentation graphique du pourcentage d'occlusives transcrites par le symbole de l'occlusive cible pour /p/ et /b/ pour chacun des 10 parkinsoniens en condition Off et On**

Pour certains sujets (d01 et d05) le pourcentage d'occlusives transcrites par le symbole de l'occlusive cible est assez stable quelles que soient l'occlusive et la condition d'enregistrement, autrement dit l'intelligibilité du sujet ne varie pas en fonction de l'occlusive ni de la condition d'enregistrement. Pour 5 sujets (les sujets d03, d04, s01, s02 et s05) l'intelligibilité est meilleure pour l'occlusive non voisée que pour l'occlusive voisée quelle que soit la condition d'enregistrement puisque les occlusives non voisées présentent un pourcentage d'occlusives reconnues comme occlusives cibles plus élevé que pour les occlusives voisées en Off et en On. Certains sujets montrent une faible intelligibilité (d02 On, s01 Off pour /b/, et s01 On, s02 Off et s02 On pour /b/, s05 Off pour /b/ et s05 On pour /b/) puisque très peu d'occlusives sont reconnues comme "occlusive cible". Sur la figure 101, nous avons mis en relief (contours blancs) les pourcentages en dessous de 35 % de reconnaissance de l'occlusive cible et nous pouvons constater qu'ils correspondent majoritairement à des occlusives voisées. En Moyenne chaque sujet produit 81 % d'occlusives non voisées reconnues comme "occlusive cible". Lorsque l'occlusive cible n'est pas reconnue, les réalisations identifiées comme des fricatives non voisées /f/ sont les plus nombreuses à l'intérieur de notre corpus, suivies par les fricatives bilabiales non voisées [ɸ] et par les occlusives labiodentales non voisées [t]. La transcription [pw] est attestée pour un seul sujet et seulement pour 5 % de ses réalisations de /p/ et la transcription de [p] est également accidentelle puisqu'elle ne concerne qu'un seul sujet et pour 4 % de ses réalisations de /p/ (1 répétition sur 24).

En Moyenne chaque sujet produit 58 % d'occlusives voisées reconnues comme "occlusive cible". Lorsque l'occlusive cible n'est pas reconnue, les réalisations identifiées comme des fricatives voisées /v/ sont les plus nombreuses à l'intérieur de notre corpus, suivies par les

fricatives bilabiales voisées [β]. La transcription [βw] est attestée pour un seul sujet et seulement pour 17 % des réalisations de /b/, la transcription de [w] ne concerne que deux sujets et l'occlusive labiodentale voisée [d] n'est reconnue que chez un seul sujet et pour 4 % de ses réalisations de /b/.

Si l'on regarde de plus près les données, les fricatives non voisées [f], bien que numériquement importantes au sein du corpus, ne sont attestées que chez 4 sujets (d02 On, s02 On, s04 Off et On et S05 Off et On), alors que les fricatives bilabiales non voisées [ϕ] sont moins nombreuses mais font partie des productions de 7 sujets (d03 Off, d04 Off, s01 On, s02 Off et On, s03 On, s04 on et s05 Off). Par contre, les fricatives voisées [v] sont nombreuses à l'intérieur de notre corpus et elles apparaissent chez 7 sujets (d02 On, d03 Off, d04 Off, s01 On, s02 Off, s04 Off et On et s05 Off et On). D'autre part, les fricatives bilabiales voisées [β] font partie de la production de tous les sujets excepté le sujet d05.

Finalement, les occlusives non reconnues comme "occlusives cibles" représentent un pourcentage assez bas mais c'est la grande variabilité inter-sujet qui fait baisser ce pourcentage. La transcription phonétique montre une grande variabilité du degré d'intelligibilité selon les sujets et les occlusives mais nous n'avons pas décelé de tendance générale liée à la condition d'enregistrement. Nous ne pouvons donc pas juger de l'influence potentielle du traitement sur l'intelligibilité du parkinsonien. Lorsque l'occlusive cible n'est pas reconnue, elle fait place à une fricative avec ou sans maintien du lieu d'articulation bilabial de l'occlusive cible. Pour les occlusives non voisées les fricatives /f/ sont très nombreuses mais ne sont pas produites par tous les sujets, les fricatives [ϕ] sont moins nombreuses mais produites par un plus grand nombre de sujets. Pour les occlusives voisées, les fricatives [β] sont moins nombreuses que les fricatives /v/ mais sont produites par tous les sujets excepté un.

*Pour résumer ...*

L'observation ciblée de la tenue de l'occlusion des différentes occlusives du corpus nous a permis de révéler une phase de persistance du voisement de la voyelle précédente se produisant sur une petite portion (moins de 20 % en moyenne) au début de la tenue de l'occlusive non voisée. Cependant, le sujet s05 produit des occlusives non voisées apparaissant totalement voisées sur les documents acoustiques. Mais la transcription phonétique du corpus effectuée par un auditeur averti ne rend pas compte de ce phénomène de voisement des occlusives non voisées, ni pour le sujet s05 ni pour aucun autre sujet (excepté pour une production de /p/ chez le sujet d01 On). Les données acoustiques montrent également que les occlusives voisées peuvent subir un dévoisement mais, d'une part ce dévoisement ne concerne que 4 sujets sur 10 et d'autre part il reste partiel (seulement 2 occlusives dont le voisement est inférieur à 40 % de la durée de la tenue de l'occlusion) et occasionnel. De plus, la transcription phonétique du corpus ne fait mention d'aucune réalisation d'occlusives voisées dévoisées. Par ailleurs, les données acoustiques attestent de l'absence de la barre d'explosion pour 20 % des réalisations et 79,8 % des occlusives réalisées avec une barre d'explosion présentent une barre d'explosion jugée faible. Les occlusives voisées semblent être réalisées moins souvent avec une barre d'explosion que les occlusives non voisées et présentent une barre d'explosion jugée faible plus fréquemment que les occlusives non voisées. La présence de bruits de friction repérée pendant la tenue de l'occlusion concerne 14 % des réalisations et plus fréquemment les occlusives voisées que les occlusives non voisées. La présence de bruits de friction au moment du relâchement de l'occlusion est un phénomène partagé par 7 % des réalisations et préférentiellement par les occlusives voisées. La transcription phonétique est sensible à la présence de ces bruits de friction puisque en moyenne 69,5 % des réalisations sont transcrites par le symbole de l'occlusive cible et la majorité des autres réalisations par le symbole d'une fricative labiodentale ou bilabiale. Quelques réalisations sont transcrites par le symbole de l'occlusive apico-dentale /t/ ou /d/ et de la semi-voyelle /w/ mais elles ne sont pas fréquentes. L'intelligibilité des occlusives non voisées est moins affectée chez les 10 sujets dysarthriques que celle des occlusives voisées avec 81 % des /p/ produits et 58 % des /b/ produits reconnus comme occlusive cible. La comparaison des données selon la condition d'enregistrement ne permet pas de définir de tendance générale nous ne pouvons pas avancer d'hypothèse quant à l'effet du traitement sur l'intelligibilité des réalisations.

## CHAPITRE VII

### Discussion

La parole dysarthrique chez les parkinsoniens est désignée par le terme de "hypokinétique" qui fait référence au phénomène de réduction de l'amplitude, de la vitesse et de la précision des mouvements articulatoires. D'autre part, la parole parkinsonienne est qualifiée d'hypophone. Ces deux caractéristiques sont les seules à faire l'unanimité puisque la parole parkinsonienne présente une grande variabilité inter et intra-sujet qui constitue un de ses critères de distinction. De plus la dysarthrie se répercute sur toutes les composantes de la parole; respiration, phonation, articulation, résonance et prosodie. Les différents travaux qui se sont intéressés à la parole en contexte de maladie de Parkinson donnent des descriptions divergentes de la production de la parole. Cependant ces travaux s'accordent à dire que les consonnes sont le siège de dysfonctionnements certains. Nous avons choisis de mener nos investigations dans cette direction et de cibler nos études sur les aspects articulatoires des consonnes occlusives. Pour ce faire, nous avons observé les caractéristiques acoustiques et aérodynamiques des occlusives bilabiales /p/ et /b/ du français chez des parkinsoniens dysarthriques en tâche de répétition. Nous disposons de données acoustiques et aérodynamiques que nous avons simultanément enregistrées auprès de 10 parkinsoniens dont 5 L-Dopa et 5 SST avec et sans traitement. Nous procédons par comparaisons des données, chaque sujet étant son propre témoin, afin de faire ressortir les potentiels et attendus effets des différents traitement sur la production des occlusives. Nous avons bien sûr pris en compte les influences dues aux variables telles que le mode phonatoire non voisé ou voisé de l'occlusive et le contexte vocalique de voyelle ouverte ou fermée. Nous faisons ci-dessous une synthèse de toutes les observations et remarques que les résultats aux analyses des données nous ont permis de formuler. Les données aérodynamiques nous ont montré que,

- Pour le pic de Pio:

Le pic de Pio est significativement plus élevé pour l'occlusive non voisée /p/ que pour l'occlusive voisée /b/. Une Pio qui atteint des valeurs plus élevées pour l'occlusive non voisée par rapport à l'occlusive voisée est une caractéristique qui s'inscrit dans la réalisation du contraste de voisement en français. Nos observations permettent de constater que cette distinction est respectée dans la production de parole parkinsonienne. D'autre part, le pic de Pio augmente significativement en On pour les parkinsoniens SST. Le fait que le groupe des parkinsoniens SST présente (au cours de la production des occlusives) une augmentation du pic de Pio sous l'effet du traitement signifie que nous pouvons faire l'hypothèse d'une meilleure gestion du souffle et/ou d'une meilleure réalisation de l'occlusion. En effet nous pouvons penser qu'une meilleure réalisation du geste d'occlusion de la part des articulateurs couplée à une meilleure dynamique respiratoire permettrait de limiter les éventuelles fuites d'air durant la phase de tenue de l'occlusion. Par contre, nos données ne permettent pas de caractériser cette amélioration du geste d'occlusion qui peut correspondre à un gain en amplitude, en vitesse, en force de compression et/ou en précision de la part des articulateurs.

- Pour la Pio moyenne:

De la même façon que pour le pic de Pio; la Pio moyenne est plus élevée pour les /p/ que pour les /b/. L'opposition de voisement est respectée par les parkinsoniens quel que soit leur traitement et leur état thérapeutique. D'autre part, la Pio moyenne augmente de façon significative en On pour les parkinsoniens SST. Nous pouvons renouveler l'hypothèse d'une meilleure gestion du souffle et/ou d'une meilleure réalisation de l'occlusion chez les parkinsoniens SST sous l'effet du traitement.

- Pour le Dab moyen pendant la phase de tenue de l'occlusion:

Alors qu'une première observation des documents aérodynamiques semblait témoigner d'un Dab important pendant la phase de tenue de l'occlusive, les données quantitatives relevées de façon automatique montrent des valeurs moyennes de Dab assez basses, cependant, elles montrent aussi une grande variabilité inter et intra-sujet. Les valeurs de Dab sont inconstantes et témoignent, pour certains sujets et pour certaines répétitions, d'une fuite d'air conséquente durant la phase de tenue de l'occlusion mais qui n'est pas systématique. Les statistiques montrent qu'aucune variable n'entraîne de différence significative du Dab moyen pendant la phase de tenue de l'occlusive; nous ne pouvons pas faire d'hypothèse quant aux effets du traitement sur la qualité de l'occlusion pendant la phase de tenue à partir de ces données.

Les données temporelles nous ont montré que,

- Pour la durée de la phase de fermeture:

La durée de la phase de fermeture est significativement plus longue pour les parkinsoniens SST par rapport aux parkinsoniens L-Dopa, et ce dans les mêmes proportions que la consonne soit voisée ou non-voisée. Il est difficile de faire une hypothèse quant à la différence de durée de la phase de fermeture entre les deux groupes de sujets. Pour les parkinsoniens SST les articulateurs sont plus lents à se mettre en position de fermeture afin de réaliser les occlusives que pour les parkinsoniens L-Dopa. Il est possible que les mouvements articulatoires soient moins précipités chez les parkinsoniens SST que chez les parkinsoniens L-Dopa.

- Pour la durée de la phase de tenue:

La durée de la phase de tenue est plus courte pour les occlusives voisées que pour les occlusives non voisées pour les deux groupes de sujets dans les deux conditions d'enregistrements. Cette différence de durée est une caractéristique qui participe à l'opposition de voisement des occlusives du français, avec une durée plus courte pour l'occlusive voisée en raison des contraintes physiologiques engagées par le voisement. Nos résultats montrent que les parkinsoniens, quels que soient le traitement et la condition d'enregistrement, réalisent l'opposition de durée liée à la distinction de voisement.

- Pour la durée de la phase d'ouverture:

La phase d'ouverture est de plus longue durée pour les parkinsoniens SST que pour les parkinsoniens L-Dopa. La durée de la phase d'ouverture tend à s'allonger en Off. La différence de durée de la phase d'ouverture entre les deux groupes de parkinsoniens est difficile à interpréter. Si la durée de la phase d'ouverture est longue, nous pouvons penser que les mouvements d'ouverture de la part des articulateurs sont lents. Les parkinsoniens SST présentent un relâchement de l'occlusion plus lent que les parkinsoniens L-Dopa. D'autre part, nous avons vu que la Pio moyenne relevée pendant la phase de tenue augmente en On pour les parkinsoniens SST. Nous pouvons penser qu'une Pio augmentée entraîne une diminution plus lente au relâchement de l'occlusion et c'est pourquoi la phase d'ouverture montrerait un allongement de durée pour les parkinsoniens SST.

- Pour la durée de l'intervalle de synchronisation entre le début de la diminution de la Pio et le début de l'augmentation du Dab (intervalle entre les étiquettes 3 et 6):

La différence de durée entre le début de la diminution de la Pio et le début de l'augmentation du Dab montre une grande variabilité inter et intra-sujet. Toutefois il témoigne du fait que, pour les occlusives de notre corpus, ces deux événements ont rarement lieu de façon simultanée. Le relâchement du point d'occlusion doit idéalement s'accompagner de la diminution soudaine de la Pio (étiquette 3) et de l'augmentation rapide du Dab (étiquette 6). Ces événements ne sont pas synchronisés pour un grand nombre de réalisations (88 % des

occlusives du corpus). D'autre part, pour certaines répétitions (33 %) la Pio chute avant que le Dab n'augmente et pour d'autres (55 %) le Dab augmente avant que la Pio ne chute. Ces observations témoignent d'un manque de coordination entre les mouvements articulatoires chez les parkinsoniens.

L'observation des documents acoustiques nous ont montré que,

- Pour le voisement:

Les occlusives non voisées sont toutes produites avec la persistance d'un voisement dans la partie initiale de la phase de tenue de l'occlusion. Sauf pour quelques répétitions, ce phénomène de voisement des occlusives non voisées reste partiel puisqu'il excède rarement 20 % de la durée de la tenue de l'occlusion. Lorsque les occlusives voisées présentent un dévoisement (pour 17 % des réalisations de /b/) le voisement n'occupe généralement pas moins de 40 % de la durée de la tenue de l'occlusion. Les comparaisons entre les deux conditions d'enregistrement Off et On ne donnent pas d'information.

- Pour la barre d'explosion:

Nous avons, dans un premier temps, observer la présence ou l'absence de la barre d'explosion pour chaque répétition sur le spectrogramme puis nous avons évalué son aspect en jugeant du taux de noirceur et de l'amplitude de la barre d'explosion. 20 % des réalisations sont produites sans barre d'explosion alors que la barre d'explosion fait partie des critères de reconnaissance des occlusives du français. Les occlusives voisées sont plus fréquemment produites sans barre d'explosion que les occlusives non voisées. De plus, parmi les occlusives réalisées avec une barre d'explosion, 79,8 % présentent une barre d'explosion jugée faible. Les occlusives voisées sont plus fréquemment produites avec une barre d'explosion jugée faible que les occlusives non voisées.

- Pour la présence de bruit de friction:

Nous avons rencontré des occlusives produites avec du bruit de friction pendant la tenue de l'occlusion (14 % des réalisations) et des occlusives produites avec du bruit de friction au moment du relâchement de l'occlusion, c'est-à-dire avec du bruit de friction qui recouvre la barre d'explosion (7 % des réalisations). Certains occlusives présentent du bruit de friction pendant la tenue de l'occlusion ainsi qu'au relâchement de l'occlusion. Les données montrent que ce sont les occlusives voisés qui sont le plus fréquemment produites avec du bruit de friction que les occlusives non voisées. Nos premiers résultats montrent une tendance à une plus grande fréquence d'occlusives produites avec du bruit de friction en condition On par rapport à la condition Off mais un traitement statistique est indispensable afin de juger de la significativité de cette différence.

- La transcription phonétique du corpus:

La transcription phonétique du corpus rend compte de la façon dont sont perçues les occlusives réalisées par les parkinsoniens. L'intelligibilité des parkinsoniens est en moyenne de 70 % lorsqu'ils sont en état Off et de 69 % lorsqu'ils sont en état On. L'effet du traitement n'apparaît donc pas dans nos données. Lorsqu'on observe les faits de façon distincte pour les deux occlusives, l'intelligibilité atteint 81 % pour les occlusives non voisées et 58 % pour les occlusives voisées. L'intelligibilité semble donc meilleure pour /p/ que pour /b/. Lorsque l'intelligibilité est observée de façon individuelle pour chacun des sujets, aucune tendance générale n'est repérée; pour certains sujets l'intelligibilité est stable quels que soient l'occlusive et la condition d'enregistrement pour d'autres elle est considérable variable. La transcription ne rapporte pas de phénomène d'occlusive non voisée voisée ou d'occlusive voisée dévoisée, en d'autres termes l'auditeur ne perçoit pas de dysfonctionnement au niveau du voisement (ou si peu qu'ils sont négligeables). La transcription témoigne de la fréquence du phénomène de spirantisation au cours duquel une fricative se substitue à l'occlusive. Dans ce cas l'occlusive cible perd son mode articulaire et son lieu d'articulation mais pas son mode phonatoire (voisé / non voisé). L'occlusion est remplacée par une constriction et le lieu d'articulation bilabial recule et devient labiodental. Nous pensons que cette transformation peut être la conséquence d'une réduction de l'amplitude et de la force de compression de la part des articulateurs. Les /f/ et les /v/ représentent 36 % des réalisations mais certains sujets n'en produisent aucune. Les fricatives peuvent être aussi bilabiales; les [ϕ] et les [β] représentent 23,5 % des réalisations mais, encore une fois, certains sujets n'en produisent aucune. Peu d'occlusives ne perdent que leur point d'occlusion; les /t/ et les /d/ ne représentent que 5 % du corpus et semblent être accidentels. Des productions de semi-consonnes sont également rapportées mais elles ne sont attestées que chez 3 sujets qui produisent quelques /pw/, /βw/ et /w/.

Les occlusives fricatives s'accompagnent d'un Dab positif qui demeure assez stable durant un certain laps de temps; sur le spectrogramme les bruits de friction sont repérables dans les hautes fréquences. Alors que de nombreuses consonnes fricatives sont perçues par l'auditeur et s'inscrivent dans la transcription de 28 % des répétitions de /p/ et de /b/, la configuration du Dab ne se révèle pas être adéquate à la production de fricatives. Nous pensons que la nature fricative de la réalisation provient d'un autre élément puisque l'hypothèse de la fuite d'air pendant la tenue causée par une occlusion défailante n'est valable que pour une minorité de répétitions. Nous nous sommes intéressés au problème de synchronisation que nous avons repéré lors de l'observation des événements aérodynamiques au moment du relâchement de

l'occlusion. En effet, nous avons observé dans le détail la synchronisation du début de l'augmentation du Dab et du début de la diminution de la Pio au moment du relâchement de l'occlusion, lorsque les articulateurs relâchent le point d'occlusion et que l'air intraoral peut s'engouffrer vers la sortie. Ces deux évènements de Dab et de Pio ne sont pas simultanés pour la majorité des occurrences et la durée de l'intervalle qui les sépare et en moyenne de 10 msec mais pour certaines répétitions elle peut atteindre des valeurs plus importantes. En contexte de parole normale cet intervalle reste toujours temporellement infime. Lorsque la courbe du Dab commence son ascension avant que la courbe de Pio ne diminue, un bruit de friction est audible juste avant le relâchement de l'occlusion et donne une impression fricative. Nous avons également attesté l'absence de la barre d'explosion pour 20 % des occlusives du corpus, cet élément renforce la nature fricative de la réalisation. Il est assez fréquent également que le problème de synchronisation se présente avec la Pio qui commence à chuter avant que le Dab n'augmente. Il est plus difficile d'interpréter cet ordre d'apparition des évènements mais nous pouvons expliquer ce phénomène par une éventuelle lenteur des mouvements d'aperture de la part des articulateurs dont les conséquences seraient, d'une part un retard de la chute de la Pio et d'autre part, une potentielle source de bruit de friction si les lèvres relâchent leur point d'occlusion mais tardent à se s'espacer. Le fait que, d'un point de vue perceptif, les occlusives apparaissent comme des fricatives peut être expliqué par 1) un problème de synchronisation au moment du relâchement de l'occlusion et/ou 2) un point d'occlusion partiel qui engendre une fuite d'air inappropriée pendant la tenue de l'occlusion, et 1) et 2) peuvent être accentués par l'absence ou la faiblesse de la barre d'explosion. Ces déviations articulatoires peuvent être perçues par l'auditeur et rendre ces consonnes plus difficiles à identifier. La relation entre les mesures acoustiques et aérodynamiques et les transcriptions établies par notre auditeur est clairement établie : les consonnes transcrites comme imparfaitement réalisées sont celles qui présentent les déformations acoustiques et/ou aérodynamiques les plus grandes. Nous pensons que, plus que des mesures précises des données aérodynamiques, les courbes de Pio et de Dab peuvent nous renseigner au sujet des évènements articulatoires et l'observation que nous proposons ici de l'intervalle entre le début de l'augmentation du dab et le début de la diminution de la Pio constitue les prémices d'une observation dans le détail de la forme des courbes aérodynamiques.

Le terme de spirantisation désigne un phénomène qui consiste en un changement phonémique au cours duquel une occlusive se substitue à une fricative. Ce terme a été fréquemment utilisé par les auteurs, cependant il ne semble pas adapté aux faits observés en contexte de dysarthrie parkinsonienne. En effet, le dysfonctionnement ne se situe pas au niveau d'une confusion

entre phonèmes mais possède une origine articuloire. La dysarthrie hypokinétique réduit la dynamique des mouvements articuloires ; l'économie du geste articuloire entraîne une modification du lieu d'articulation et/ou du mode articuloire, de plus nous avons vu qu'un problème de synchronisation des mouvements articuloires confère une nature fricative à une grande partie des occlusives produites par les parkinsoniens. Le phénomène de spirantisation et les conséquences de l'hypokinésie sur la production des occlusives aboutissent à un même résultat ; une occlusive peut donner lieu à une fricative, mais les raisons de la transformation ne sont pas les mêmes. Le terme de spirantisation doit être abandonné dans l'interprétation des faits concernant la production de parole dysarthrique. Le recul du point d'articulation et la préférence du mode articuloire fricatif peuvent se réaliser à l'occasion de la production d'autres consonnes que les bilabiales. Le problème de coordination des mouvements observé au relâchement de l'occlusion est propre aux occlusives. Certaines études rapportent un phénomène de dévoisement perturbant les consonnes voisées. Il serait intéressant également d'étendre nos analyses à d'autres occlusives et obstruantes du français afin de déterminer si les problèmes observés avec /p/ et /b/ sont généralisables.

Les études observant les effets des traitements sur la production de la parole dysarthriques ne sont pas nombreuses. Les bénéfices de la L-dopa sont généralement observés au niveau de l'activité phonatoire et de l'intelligibilité chez certains parkinsoniens. Les effets de la SST sont plus difficilement qualifiables ; ils peuvent s'avérer positifs mais peuvent aussi aggraver l'intelligibilité et la prosodie des patients. Notre étude a révélé une augmentation de la Pio chez les parkinsoniens en état On qui peut être attribuable soit à une meilleure réalisation de la consonne, soit à une amélioration générale du fonctionnement du système respiratoire. Nous projetons d'observer les caractéristiques de la voyelle /a/ tenue dont nous avons déjà enregistré les données acoustiques et aérodynamiques auprès des 10 parkinsoniens ayant participé à notre étude. La durée de la production vocalique ainsi que le volume d'air expiré constituent des éléments de description des effets des traitements sur le système respiratoire. Mais le moyen le plus sûr pour déterminer l'origine de l'augmentation de la Pio reste celui de tester la dynamique respiratoire indépendamment de l'activité de parole auprès des parkinsoniens ayant participé à notre étude. Nous souhaitons également compléter notre étude par une analyse cinétique des articulateurs au moyen de capteurs nous permettant de suivre les mouvements des lèvres et de la langue pendant la production de parole. Nous pourrions ainsi qualifier et quantifier l'amélioration de l'hypokinésie sous l'effet des thérapeutiques. Les travaux de M. Viallet et de M. Teston décrivent une augmentation de la Fo et de la variation de la Fo chez des parkinsoniens en tâche de lecture dans la condition On par rapport à la

condition Off pour les deux groupes (L-Dopa et SST). Ces résultats vont dans le sens d'une restauration de l'activité musculaire laryngée sous l'effet des traitements. Nos résultats concernant l'augmentation de la P<sub>io</sub> en On vont dans le sens de ceux effectués sur la Fo ; l'amélioration de la modulation de la Fo bénéficie d'une meilleure dynamique respiratoire, sous-entendant une pression sous-glottique augmentée.

Les études portant sur la dysarthrie pour l'anglais relatent, comme nous l'avons fait, une grande variabilité dans les résultats qui est utilisée afin de discerner différents sous-groupes au sein de la population atteinte de dysarthrie parkinsonienne. Ces études incriminent une résistance laryngée qui serait exacerbée chez les dysarthriques, et les dysfonctionnements dont elles discutent se concentrent essentiellement sur le voisement et moins fréquemment sur le mode et le lieu articulatoire.

Les troubles que nous avons observés et les modifications dont les consonnes sont sujettes présentent des points communs avec ce qui a été décrit dans la littérature chez le sujet normal. La différence se situe dans la fréquence d'apparition de tels dysfonctionnements.

Notre étude a mis en scène un corpus constitué de répétitions de dissyllabes, nous pensons que les faits seraient différents en contexte de parole continue. En effet, les locuteurs s'appliquent à répéter de façon intelligible les différentes réalisations des 4 dissyllabes. Nous pouvons nous attendre à davantage de dégradation de la parole lorsque celle-ci est spontanée mais le phénomène peut être contradictoire ; en l'absence de l'aspect attentionnel de l'activité de parole, la production peut s'améliorer chez certains patients.

Cette étude avait pour objectif d'explorer de manière détaillée la production des occlusives dans la maladie de Parkinson. Nous avons entrepris de comparer les effets de deux traitements différents, dans un paradigme expérimental permettant à chaque sujet de servir de contrôle pour lui-même. Les données montrent que les traitements améliorent la dynamique respiratoire. Sur le plan articulatoire, ces données vont partiellement dans le sens des résultats déjà établis sur le français et d'autres langues.

Chez les parkinsoniens, les occlusives se caractérisent par une fermeture souvent incomplète du conduit vocal; mais cela ne se traduit pas toujours par la production d'un bruit de friction audible comparable à celui d'une fricative. Dans la littérature, les occlusives sont parfois perçues comme étant transformées en fricatives; cette assimilation perceptive est peut-être attribuable à des facteurs extérieurs au bruit de friction comme par exemple, le ralentissement de la phase de relâchement et de la transition entre l'occlusive et la voyelle suivante. D'autre part, contrairement à ce qui est dit dans la littérature, nos résultats montrent que le trait de voisement ne semble pas fortement perturbé dans la dysarthrie parkinsonienne.

Dans cette étude, le matériel était formé par des séquences VCV. En dépit de la simplicité de ce matériel, nos résultats font apparaître d'importantes difficultés articulatoires qui rendent la consonne parfois difficile à identifier par l'auditeur. Il est probable que ces difficultés soient plus importantes encore dans la parole continue. En revanche, il est possible que les séquences utilisées soient trop courtes pour permettre à la meilleure dynamique respiratoire observée en ON d'exercer un effet sur l'intelligibilité de la consonne.

Comme dans toutes les études antérieures, ce travail a fait apparaître une très forte variabilité inter- et intra-individuelle qui rend parfois difficile la mise en évidence de tendances générales. De nouvelles études sur davantage de sujets seraient ainsi nécessaires pour apporter confirmation à nos résultats. Le paradigme expérimental utilisé a permis à chaque sujet de faire office de contrôle pour lui-même. Néanmoins, des mesures recueillies sur des sujets normaux témoins se montrent elles aussi nécessaires afin de servir de référence.

Les troubles articulatoires que nous observons sont dans une certaine mesure comparables à certains phénomènes qui se rencontrent dans la parole spontanée (par comparaison avec la parole lue) chez le sujet sain, par exemple, la fermeture incomplète du conduit vocal dans la production d'une occlusive. Cette constatation donne peut-être à supposer que ces phénomènes sont assujettis à des contraintes articulatoires qui s'exercent de la même manière chez les deux populations. Cependant, chez les sujets parkinsoniens, ces troubles se manifestent indépendamment du contexte phonétique, et dans la réalisation de séquences isolées de forme très simple (VCV). Là se situe peut-être l'une des frontières qui séparent le normal du pathologique.

## CONCLUSION

Nous proposons une description de la parole pathologique en contexte de maladie de Parkinson à travers l'observation ciblée de la production des consonnes occlusives chez une population de parkinsoniens. L'originalité de notre étude réside dans la constitution de notre corpus; nous avons recueilli des données de nature acoustique et aérodynamique auprès de 5 parkinsoniens sous traitement pharmacologique et de 5 parkinsoniens appareillés de l'électrode de stimulation sous-thalamique, tous enregistrés avec et sans l'effet du traitement. Le point de départ de notre investigation est la vérification de la fréquence d'apparition du phénomène de spirantisation souvent déclarée systématique par les études menées sur la dysarthrie. A l'occasion de cette entreprise nous avons fait une description des différentes réalisations de /p/ et de /b/ de façon exhaustive. Au cours des différentes phases de l'occlusive, phase de fermeture, phase de tenue et phase d'ouverture, nous avons renseigné du comportement de la Pio et du Dab et de l'organisation temporelle de l'occlusive. A partir des documents de représentation du signal acoustique, oscillogramme et spectrogramme, nous avons examiné la présence et l'aspect de la barre d'explosion ainsi que des bruits de friction qui peuvent se manifester pendant la tenue de l'occlusion ou se superposer à la barre d'explosion. A partir d'une transcription phonétique de toutes les occurrences de [apa], [ipi], [aba] et [ibi] de notre corpus nous confirmons que bons nombres de réalisations sont perçues comme des fricatives mais le phénomène de spirantisation n'est pas exclusif, la perte du point d'articulation de l'occlusive cible n'accompagne pas toujours l'aspect fricatif de la réalisation. Nos données attestent du fait que certains parkinsoniens présentent un déficit au niveau de la force de compression des lèvres. Cette insuffisance musculaire les amène à articuler des occlusives caractérisées par une occlusion incomplète qui laisse un flux d'air s'échapper pendant la tenue de l'occlusion. Nous pouvons repérer ces réalisations; elles présentent un Dab positif ainsi que des bruits de friction pendant la tenue. Mais ces occurrences sont numériquement insuffisantes pour expliquer à elles seules la quantité de fricatives

comptabilisées par la transcription phonétique du corpus. Nous pensons que nos données nous ont permis de détecter une origine supplémentaire à l'impression de friction des occlusives dysarthriques. En effet, nous avons signalé un problème récurrent de synchronisation entre les courbes de Pio et de Dab qui montrent un décalage entre le début de l'augmentation du Dab et le début de la diminution de la Pio au moment du relâchement du point d'articulation de l'occlusive alors qu'ils devraient avoir lieu en même temps. L'intervalle entre les deux événements aérodynamique est l'occasion de bruits de friction qui confèrent à la réalisation une nature fricative d'autant plus affirmée lorsqu'ils sont associés à l'absence de la barre d'explosion, critère distinctif des occlusives du français, et/ou à la perte en force de compression des lèvres. Nous pensons que l'observation de la forme des courbes de Pio et de Dab donne plus d'informations que le relevé de valeurs précises effectué à différents moments de la production de l'occlusive. Les perturbations relevées au cours de la production de la parole dysarthrique sont inconstantes et très souvent singulières mais le dysfonctionnement de synchronisation de la courbe de Dab et de Pio au moment du relâchement de l'occlusion semble être partagé, selon différents degrés, par tous les locuteurs ayant participé à notre étude et pourrait contribuer à la description de la parole dysarthrique en contexte de maladie de Parkinson. De nombreuses questions restent en suspens, nous avons ambitionné d'une part de tester l'efficacité des traitements sur l'intelligibilité des parkinsoniens et d'autre part de comparer le taux d'efficacité des deux traitements sur l'intelligibilité des parkinsoniens. A ce stade, les données de notre étude ne nous permettent pas de telles considérations, mais concourent à la description de la parole pathologique.

## Références bibliographiques

1. Abdelli-Beruh NB. (2004). The stop voicing contrast in french sentences : Contextual sensitivity of vowel duration, closure duration, voice onset time, stop release and closure voicing. *Phonetica*. Vol. 61, pp. 201-219.
2. Abry C., Boë LJ., Corsi P., Descout R., Gentil M., Graillet P. (1980). *Labialité et phonétique; Données fondamentales et études expérimentales sur la géométrie et la motricité labiales*. Publications de l'Université des langues et lettres de Grenoble, 302 p.
3. Ackermann H., Konczak J., Hertrich I. (1997). The Temporal Control of Repetitive Articulatory Movements in Parkinson's Disease. *Brain and Language*, Vol. 56, Issue 2, pp. 312-319.
4. Ackermann H., Ziegler W. (1991). Articulatory deficits in parkinsonian dysarthria: an acoustic analysis. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*. Vol. 54, Issue 12, pp. 1093-1108.
5. Akermann H., Hertrich I., Daum I., Scharf G., Spieker S. (1997). Kinematic analysis of articulatory movements in central motor disorders. *Movements Disorders*. Vol. 12, Issue 6, pp. 1019-1027.
6. Autesserre D., Teston B. (1987). Etude aérodynamique des consonnes françaises ; valeurs de référence et profils caractéristiques. *16° Journée d'Etude sur la Parole. Société Française d'Acoustique*. Hammamet, 5-9 octobre 1987, pp. 105-108.
7. Azevedo LL., Cardoso F., Reis C. (2003). Acoustic analysis of prosody in females with Parkinson's disease: comparison with normal controls. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*. Vol 61, Issue 4, pp. 999-1003.
8. Baker KK., Ramig LO., Johnson AB., Freed CR. (1997). Preliminary voice and speech analysis following fetal dopamine transplants in 5 individuals with Parkinson disease. *Journal of Speech Language and Hearing Research*. Vol. 40, Issue 3, pp. 615-626.

9. Baumgartner CA., Sapir S., Ramig LO. (2001). Voice quality changes following phonatory-respiratory effort treatment (LSVT) versus respiratory effort treatment for individuals with Parkinson Disease. *Journal of Voice*. Vol. 15, No. 1, pp. 105-114.
10. Caligiuri MP. (1987). Labial kinematics during speech in patients with parkinsonian rigidity. *Brain*. Vol. 110, Issue 4, pp. 1033-1044.
11. Charbonneau R., Jacques B. (1972). Le [ts] et le [dz] en français canadien. In Valdman A. (Ed.), *Papers in linguistics and phonetics to the memory of Pierre Delattre*. Coll. *Janua Linguarum, Series Maior*, 54. La Haye, Pays-Bas : Mouton & Co, pp. 77-90.
12. Comité d'Evaluation et de Diffusion des Innovations Technologiques, Courtay A., Dunbavand A., Perrin JP., Baffert S., Fery-Lemonnier E. (2001). Stimulation cérébrale profonde dans la maladie de Parkinson. Rapport intermédiaire du CEDIT. *Paris, CEDIT*.
13. Conférence de consensus sur la maladie de Parkinson. (2000). Textes des experts, Textes du groupe bibliographique et recommandations du jury (texte court et texte long). *Revue Neurologique*. Vol. 156 (suppl. 2b), pp. 1-294.
14. Connor NP., Ludlow CL., Schulz GM. (1989). Stop Consonant production in isolated and repeated syllables in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*. Vol. 27, No. 6, pp. 829-838.
15. Darley FL., Aronson AE., Brown JR. (1969). Differential diagnostic patterns of dysarthria. *Journal of Speech and Hearing Research*, Vol. 12, pp. 246-269.
16. Darley FL., Aronson AE., Brown JR. (1975). *Motor Speech Disorders*. Philadelphia, PA: W.B. Saunders Company.
17. Dart SN. (1998). Comparing French and English coronal consonant articulation. *Journal of Phonetics*. Vol. 26, pp. 71-94.
18. Deane KH., Whurr R., Playford ED., Ben-Shlomo Y., Clarke CE. (2001). A comparison of speech and language therapy techniques for dysarthria in Parkinson's disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. Vol. 2, CD002814.

19. Dias AE., Limongi JC. (2003). Treatment of vocal symptoms in Parkinson's disease: the Lee Silverman method. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*. Vol. 61, Issue 6, pp. 61-66.
20. Dowsey-Limousin P., Pollak P. (2001). Deep brain stimulation in the treatment of Parkinson's disease: a review and update. *Clinical Neuroscience Research*. Vol. 1, pp. 521-526.
21. Duez D. (1995). On spontaneous French speech : Aspects of the reduction and contextual assimilation of voiced stops. *Journal of Phonetics*. Vol. 23, pp. 407-427.
22. Duez D. (2001). Reduction and assimilatory processes in conversational French speech: Implications for speech synthesis. Workshop COST (1999 avril 8-10 : Lausanne, Suisse). In *Improvements in Speech Synthesis : The Naturalness of Synthetic Speech*. Keller & al. (Eds.), New York : John Wiley & Sons, pp. 229-236.
23. Fédération Française de Neurologie, Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en Santé. (2000). La maladie de Parkinson : critères diagnostiques et thérapeutiques. Conférence de consensus. Paris France, 3 mars 2000.
24. Fédération Française de Neurologie, Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en Santé. (2002). Rapport d'étape : Evaluation de la stimulation cérébrale profonde dans la maladie de Parkinson idiopathique. *Service Evaluation des Technologies*, juin 2002.
25. Fisher-Jørgensen E. (1972). Ptk et bdg français en position intervocalique accentuée. In Albert Valdman (Ed.), *Papers in linguistics and phonetics to the memory of Pierre Delattre*. Coll. Janua Linguarum, Series Maior, 54. La Haye, Pays-Bas : Mouton & Co, pp 143-200.
26. Forrest K., Weismer G., Turner GS. (1989). Kinematic, acoustic, and perceptual analyses of connected speech produced by parkinsonian and normal geriatric adults. *Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 85, Issue 6, pp. 2608-2622.
27. Fraix V. (In Press 2004). Thérapie génique et maladie de Parkinson. *La revue de la médecine interne*.
28. Fujimura O., Erickson D. (1997). Acoustic phonetics. In WJ. Hardcastle & J. Laver (Eds.), *The handbook of phonetic sciences*. Cambridge, MA: Blackwell, pp. 65-115.

29. Garcia L., Audin J., D'Alessandro G., Bioulac B., Hammond C. (2003). Dual effect of high-frequency stimulation on subthalamic neuron activity. *Journal de Neuroscience*. Vol. 23, Issue 25, pp. 743-751.
30. Garcia L., D'Alessandro G., Bioulac B., Hammond C. (In Press, 2005). High-frequency stimulation in Parkinson's disease: more or less ? *Trends in Neurosciences*. pp. 1-8.
31. Gentil M. (1992). Phonetic intelligibility testing in dysarthria for the use of French language clinicians. *Clinical Linguistics & Phonetics*. Vol. 6, No. 3, pp. 179-189.
32. Gentil M., Chauvin P., Pinto S., Pollak P., Benabid AL. (2001). Effect of bilateral stimulation of the subthalamic nucleus on Parkinsonian voice. *Brain and Language*. Vol. 78, Issue 2, pp. 233-240.
33. Gentil M., Garcia-Ruiz P., Pollak P., Benabid AL. (1999). Effects of stimulation of the subthalamic nucleus on oral control of patients with parkinsonism. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*. Vol. 67, pp. 329-333.
34. Gentil M., Pinto S., Pollak P., Benabid AL. (2003). Effect of bilateral stimulation of the subthalamic nucleus on parkinsonian dysarthria. *Brain language*. Vol. 85, Issue 2, pp. 190-196.
35. Gentil M., Pollak P., Perret J. (1995). La dysarthrie parkinsonienne. *Revue Neurologique*. Vol. 151, n°2, pp. 105-112.
36. Gentil M., Tournier CL., Perrin S., Pollak P. (1998). Effects of levodopa on finger and orofacial movements in Parkinson's disease. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*. Vol. 22, pp. 1261-1274.
37. Gill SS., Patel NK., Hotton GR., O'Sullivan K., McCarter R., Bunnage M., et al. (2003). Direct brain infusion of glial cell line-derived neurotrophic factor in Parkinson disease. *Nature medicine*. Vol.9, Issue 5, pp. 589-595.
38. Goberman A. , Coelho C., Robb M. (2002). Phonatory characteristics of Parkinsonian speech before and after morning medication: the ON and OFF states. *Journal of Communication Disorders*. Vol. 35, Issue 3, pp. 217-239.

39. Gräber S., Hertrich I., Daum I., Spieker S., Ackermann H. (2002). Speech perception deficits in Parkinson's disease: underestimation of time intervals compromises identification of durational phonetic contrasts. *Brain and Language*. Vol. 82, Issue 1, pp. 65-74.
40. Gracco LC, Gracco VL., Löfqvist Anders, Marek K. (1992). An aerodynamic evaluation of parkinsonian dysarthria: laryngeal and supralaryngeal manifestations. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*. SR- 111/112, pp. 103-110.
41. Gracco VL., Tremblay P., Pike B. (In Press, 2005). Imaging speech production using fMRI. *NeuroImage*.
42. Hammen VL., Yorkston KM. (1996). Speech and pause characteristics following speech rate reduction in hypokinetic dysarthria. *Journal of Communication Disorder*. Vol. 29, Issue 6, pp. 429-444.
43. Haneishi E. (2001). Effects of a music therapy voice protocol on speech intelligibility, vocal acoustic measures, and mood of individuals with Parkinson's disease. *Journal of Music Therapy*. Vol. 38, Issue 4, pp. 273-290.
44. Harel BT., Cannizzaro MS., Cohen H., Reilly N., Snyder PJ. (2004). Acoustic characteristics of Parkinsonian speech: a potential biomarker of early disease progression and treatment. *Journal of Neurolinguistics*. Vol. 17, Issue 6, pp. 439-453
45. Harel BT., Cannizzaro MS., Snyder PJ. (2004). Variability in fundamental frequency during speech in prodromal and incipient Parkinson's disease: A longitudinal case study. *Brain and Cognition*. Vol. 56, Issue 1, pp. 24-29.
46. Ho AK, Ianseck R., Bradshaw JL. (2001). Motor instability in parkinsonian speech intensity. *Neuropsychiatry, Neuropsychology and Behavioral Neurology*. Vol. 14, Issue 2, pp. 109-116.
47. Ho AK., Bradshaw JL., Ianseck R., Alfredson R. (1999). Speech volume regulation in Parkinson's disease: effects of implicit cues and explicit instructions. *Neuropsychologia*. Vol. 37, Issue 13, pp. 1453-1460.

48. Hoodin RB, Gilbert HR. (1989). Nasal airflows in parkinsonian speakers. *Journal of Communication Disorder*. Vol. 22, Issue 3, pp. 169-180.
49. Hunker CJ., Abbs JH, Barlow SM. (1982). The relationship between parkinsonian rigidity and hypokinesia in the orofacial system: a quantitative analysis. *Neurology*. Vol. 32, Issue 7, pp. 749-754.
50. Illes J., Metter EJ., Hanson WR., Iritani S. (1988). Language production in Parkinson's disease : acoustic and linguistic considerations. *Brain and language*. Vol. 33, Issue 1, pp. 146-160.
51. Jiang J., Lin E., Wang J., Hanson DG. (1999). Glottographic measures before and after levodopa treatment in Parkinson's disease. *Laryngoscope*. Vol. 109, Issue 8, pp. 1287-1294.
52. Jiang J., O'Mara T., Chen HJ., Stern JI., Vlagos D., Hanson D. (1999). Aerodynamics measurements of patients with Parkinson's disease. *Journal of Voice*. Vol. 13, No. 4, pp. 583-591.
53. Keller E. (1985). Mesures psychomotrices de la production de la parole. *Proceedings du VIIème Congrès annuel de la Société Québécoise pour la Recherche en Psychologie*. Montréal.
54. Keller E. (1987). Mesures ultrasoniques des mouvements du dos de la langue en production de la parole: Aspects cliniques. *Folia Phoniatica*. Vol. 39, pp. 52-62.
55. Kempler D., Lancker DV. (2002). Effect of Speech Task on Intelligibility in Dysarthria: A Case Study of Parkinson's Disease. *Brain and Language*, Vol. 80, Issue 3, pp. 449-464.
56. Kent RD. (2000). Research on speech motor control and its disorders : a review and prospective. *Journal of Communication Disorders*. Vol. 33, pp. 391-428.
57. Kent RD., Kent JF., Weismer G., Duffy JR. (2000). What dysarthrias can tell us about the neural control of speech. *Journal of Phonetics*. Vol. 28, pp. 273-302.

58. Kent RD., Tjaden K. (1997). Brain Functions Underlying Speech. In WJ. Hardcastle & J. Laver (Eds.), *The handbook of phonetic sciences*. Cambridge, MA: Blackwell, pp. 220-255.
59. Kent RD., Weismer G., Kent JF., Vorperian HK., Duffy JR. (1999). Acoustic studies of dysarthric speech: Methods, progress, and potential. *Journal of Communication Disorders*. Vol. 32, Issue 3, pp. 141-186.
60. Krack P., Pollak P., Limousin P., Hoffmann D., Xie J., Benazzouz A., Benabid AL. (1998). Subthalamic nucleus or internal pallidal stimulation in young onset Parkinson's disease. *Brain*. Vol. 121, pp. 451-457.
61. Ladefoged P. (2001). *A Course in Phonetics / Fourth Edition*. Heinle & Heinle (Eds.), 289 p.
62. Laver J. (1994). *Principles of phonetics*. Cambridge University Press, 707 p.
63. Levelt WJM. (1989). *Speaking : From intention to articulation*. Aravind Joshi (Ed.), The MIT Press, 566 p.
64. Limousin P., Krack P., Pollak P., Benazzouz A., Ardouin C., Hoffmann D., Benabid AL. (1998). Electrical stimulation of the subthalamic nucleus in advanced Parkinson's disease. *The New England Journal of Medicine*. Vol. 339, pp. 1105-1111.
65. Limousin P., Pollak P., Benazzouz A., Hoffmann D., Le Bas JF., Broussolle E., Perret JE., Benabid AL. (1995). Effect on parkinsonian signs and symptoms of bilateral subthalamic nucleus stimulation. *The Lancet*. Vol. 345, pp. 91-95.
66. Logemann JA., Fisher HB., Boshes B., Blonsky R. (1978). Frequency and cooccurrence of vocal tract dysfunctions in the speech of a large sample of parkinson patients. *Journal of Speech and Hearing Disorders*. Vol. 18, pp. 47-57.
67. Marchal A. (1980). L'affrication de /t/ et de /d/ en français de Montréal. In *Travaux de l'Institut de Phonétique d'Aix et UA 261 du CNRS, N°7*, pp. 79-99.
68. Metter EJ., Hanson WR. (1986). Clinical and acoustical variability in hypokinetic dysarthria. *Journal of Communication Disorders*. Vol. 19, pp. 347-366.

69. Müller EM., Brown WS. (1980). Variations in the supraglottal air pressure waveform and their articulatory interpretation. In N. Lass (Ed.), *Speech and Language: Advances in basic research and practice*. Vol. 4. New York: Academic Press, pp. 317-389.
70. Ohala JJ. (1975). A mathematical model of speech aerodynamics. In Fant G. (Ed.), *Speech communication*. Vol. 2: Speech production and synthesis by rule. Stockholm, Almqvist & Wiksell, pp. 65-72.
71. Ohala JJ. (1976). A model of speech aerodynamics. *Report of the Phonology Laboratory (Berkeley) 1*, pp. 93-107.
72. Ohala JJ. (1983). The origin of sound patterns in vocal tract constraints. In MacNeilage PF. (Ed.), *The production of speech*, New York: Springer Verlag, pp 189-216.
73. Ohala JJ. (1990). Respiratory activity in speech, in Hardcastle WJ. & Marshall A. (Eds.), *Speech production and speech modelling*, Series D Behavioural and social sciences, Vol. 55, Kluwer Academic Publishers, pp 23- 53.
74. Ozsancak C., Auzou P., Jan M., Hannequin D. (2001). Measurement of voice onset time in dysarthric patients: methodological considerations. *Folia Phoniatica et Logopaedica*. Vol. 53, Issue 1, pp. 48-57.
75. Pellat J., Gentil M., Chevalier C., Vila A., Pollak P., Perret P. (1983). Electromyographic study of 4 lip muscles and acoustic findings in parkinsonian dysarthria. *Revue Neurologique*. Vol. 139, Issue 3, pp. 205-213.
76. Pinto S., Gentil M., Fraix V., Benabid AL., Pollak P. (2003). Bilateral subthalamic stimulation effects on oral force control in Parkinson's disease. *Journal of Neurology*. Vol. 250, Issue 2, pp. 179-187.
77. Pinto S., Ozsancak C., Tripoliti E., Thobois S., Limousin-Dowsey P., Auzou P. (2004). Treatments for dysarthria in Parkinson's disease. *The Lancet Neurology*. Vol. 3, Issue 9, pp. 547-556.
78. Pinto S., Thobois S., Costes N., Le Bars D., Benabid AL., Broussolle E., Pollak p., Gentil M. (2004). Subthalamic nucleus stimulation and dysarthria in Parkinson's disease: a PET study. *Brain*. Vol. 127, n°3, pp. 602-615.

79. Pitcairn TK., Clemie S., Gray JM., Pentland B. (1990). Impressions of parkinsonian patients from their recorded voices. *British Journal of Disorders of Communication*. Vol. 25, Issue 1, pp. 85-92.
80. Ramig LO., Countryman S., Fox C., Sapir S. (2001). Troubles et rééducation de la voix, de la parole et de la déglutition dans la maladie de Parkinson. In : *Les dysarthries*. Auzou P., Ozsancak C., Brun V. (Eds) Masson, Paris, pp. 257-274.
81. Rothenberg M. (1968). Breath-stream dynamics of simple-released-plosive production. *Bibliotheca Phonetica*. Vol. 6, pp. 6-22.
82. Rousselot PJ. (1901-1908). Principes de phonétique expérimentale. Tome II, H. Welter (Ed.), Paris, pp. 640-1252.
83. Saerens M., Serniclaes W., Beeckmans R. (1989). Acoustic versus contextual factors in stop voicing perception in spontaneous French. *Language and speech*. Vol. 32, Issue 34, pp. 291-314.
84. Santens P., De Letter M., Van Borsel J., De Reuk J., Caemaert J. (2003). Lateralized effects of subthalamic nucleus stimulation on different aspects of speech in Parkinson's disease. *Brain and Language*. Vol. 87, pp. 253-258.
85. Sapir S, Ramig LO, Hoyt P., Countryman S., O'Brien C., Hoehn M. (2002). Speech loudness and quality 12 months after intensive voice treatment (LSVT) for Parkinson's disease: a comparison with an alternative speech treatment. *Folia Phoniatica et Logopaedica*. Vol. 54, Issue 6, pp. 296-303.
86. Schulz GM. (2002). The effects of speech therapy and pharmacological treatments on voice and speech in Parkinson's disease: a review of the literature. *Current Medicinal Chemistry*. Vol. 9, pp. 1359-1366.
87. Schulz GM., Grant MK. (2000). Effects of speech therapy and pharmacologic and surgical treatments on voice and speech in Parkinson's disease: a review of the literature. *Journal of Communication Disorders*. Vol. 33, pp. 59-88.
88. Schulz GM., Peterson T., Sapienza CM., Greer M., Friedman W. (1999). Voice and speech characteristics of persons with Parkinson's disease pre- and post-pallidotomy

- surgery: preliminary findings. *Journal of Speech Language and Hearing Research*. Vol. 42, Issue 5, pp. 1176-1194.
89. Segui J., Ferrand L. (2000). *Leçons de parole*. Editions Odile Jacob, Paris, 248 p.
90. Segui N., Spira A., Dordain P., Lazar P., Chevrie-Muller C. (1974). Etude des relations entre les troubles de la parole et les autres manifestations cliniques dans la maladie de Parkinson. *Folia Phoniatrica*. Vol. 26, pp. 108-126.
91. Shadle CH. (1997). The aerodynamics of speech. In WJ. Hardcastle & J. Laver (Eds.), *The handbook of phonetic sciences*. Cambridge, MA: Blackwell, pp. 33-64.
92. Simon P. (1967). *Les consonnes françaises : mouvements et positions articulatoires à la lumière de la radiocinématographie*. Coll. Bibliothèque française et romane. Série A, XIV, P, Librairie C. Klincksieck, Paris, 380 p.
93. Snoeren ND., Hallé PA., Segui J. (In Press 2005). A voice for the voiceless: Production and perception of assimilated stops in French. *Journal of Phonetics*.
94. Stevens KN. (1997). Articulatory-acoustic-auditory relationships. In WJ. Hardcastle & J. Laver (Eds.), *The handbook of phonetic sciences*. Cambridge, MA: Blackwell, pp. 462-506.
95. Stevens KN. (1997). Articulatory-acoustic-auditory relationships. In WJ. Hardcastle & J. Laver (Eds.), *The handbook of phonetic sciences*. Cambridge, MA: Blackwell, pp. 462-506.
96. Teston B., Galindo B., Ghio A. (1999). A multisensor data acquisition and processing system for speech production investigation. In Proceedings of the XIVth ICPHS, San Francisco, 1-7 August 1999, Vol. 3, pp. 2251-2254.
97. Thobois S., Delamarre-Damier F., Derkinderen P. (In Press 2005). Treatment of motor dysfunction in Parkinson's disease : an overview. *Clinical Neurology and Neurosurgery*.
98. Uziel A., Bohe M., Cadilhac J., Passouant P. (1975). Les troubles de la voix et de la parole dans les syndromes parkinsoniens. *Folia Phoniatrica*. Vol. 27, pp. 166-176.

99. Viallet F., Gayraud D., Bonnefoi-Kyriacou B., Dupel-Pottier C., Aurenty R. (2001). Aspects cliniques et thérapeutiques de la maladie de Parkinson. *Encyclopédie Médico-chirurgicale Neurologie*, 17-060-A-50.
100. Wang E., Verhagen Metman L., Bakay R., Arzbaecher J., Bernard B. (2003). The effect of unilateral electrostimulation of the subthalamic nucleus on respiratory / phonatory subsystems of speech production in Parkinson's disease: a preliminary report. *Clinical Linguistics and Phonetics*. Vol. 17 pp. 283-289.
101. Weismer G. (1997). Motor speech disorders. In WJ. Hardcastle & J. Laver (Eds.), *The handbook of phonetic sciences*. Cambridge, MA: Blackwell, pp. 191-219.
102. Weismer G., Jeng JY., Laures JS, Kent RD., Kent JF. (2001). Acoustic and intelligibilité characteristics of sentence production in neurogenic speech disorders. *Folia Phoniatica et Logopaedica*. Vol. 53, Issue 1, pp. 1-18.
103. Weismer G., Yunusova Y., Westbury JR. (2003). Interarticulator coordination in dysarthria: an X-ray microbeam study. *Journal of Speech Language and Hearing Research*. Vol. 46, Issue 5, pp. 1247-1261.
104. Westbury JR. (1983). Enlargement of the supraglottal cavity and its relation to stop consonant voicing. *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 73 (4), pp. 1322-1336.
105. Yuceturk AV., Yilmaz H., Egrilmez M., Karaca S. (2002) Voice analysis and videolaryngostroboscopy in patients with Parkinson's disease. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*. Vol. 259, Issue 6, pp. 290-293.

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Les structures respiratoire, laryngée et supralaryngée, d'après Levelt 1989, p. 42314	
Figure 2 : a) Vue postérieure du larynx, b) Vue de dessus des cordes vocales, d'après Levelt 1989, p425 .....	15
Figure 3 : Le tractus vocal, d'après Levelt 1989, p 428.....	16
Figure 4: Vue latérale droite des muscles de la face, d'après Abry et al., 1980 p. 35.....	19
Figure 5 : Les différents modes de phonation d'après Laver 1994, p. 199 .....	24

Figure 6: Courbes de Pio et de Dab pendant la production de /p/, d'après Müller & Brown 1980, p. 335 .....	34
Figure 7: Courbes de Pio et de Dab pendant la production de /p/, d'après Gracco et al. 1992, p. 105 .....	39
Figure 8 : Echelle Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS), Fahn & Elton 1987	56
Figure 9: Les ganglions de la base, vue latérale et section sagittale du cerveau, Kent et Tjaden, 1997, p. 227 .....	159
Figure 10 : Stades de Hoehn & Yarh, 1967 .....	166
Figure 11: Appareillage de stimulation à hautes fréquences.....	171
Figure 12: Système d'appareillage EVA, Teston et al. 1999.....	178
Figure 13 : Etiquettes à partir des données aérodynamiques .....	187
Figure 14 : Délimitation des trois phases articulatoires de l'occlusive .....	189
Figure 15 : Observation du Débit d'air buccal pendant la phase de tenue de l'occlusive.....	192
Figure 16 : Observation du Pic de Pio pendant la tenue de l'occlusive .....	193
Figure 17 : Observation du voisement .....	194
Figure 18 : Représentation graphique du pic de Pio pendant la tenue de l'occlusive pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement .....	200
Figure 19: Représentation graphique du pic de Pio pendant la tenue de /p/ et de /b/ pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement .....	201
Figure 20 : Représentation graphique du pic de Pio pendant la tenue de l'occlusive en contexte vocalique [a_a] et [i_i] pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement.....	202
Figure 21 : Représentation graphique du pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	202
Figure 22 : Représentation graphique du pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On.....	203
Figure 23 : Représentation graphique du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive selon le contexte vocalique [a_a] ou [i-i] pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	204
Figure 24 : Représentation graphique du pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet d01 .....	205
Figure 25 : Pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet d02 .....	205
Figure 26 : Pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet d03 .....	206
Figure 27 : Pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet d04 .....	206
Figure 28 : Pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet d05 .....	207
Figure 29 : Pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet s01 .....	207
Figure 30 : Pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet s02 .....	208
Figure 31 : Pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet s03 .....	208
Figure 32 : Pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet s04 .....	209

Figure 33 : Pic de Pio pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ pour chaque groupe de répétitions pour le sujet s05 .....	209
Figure 34 : Représentation graphique de la Pio moyenne pendant toute la durée de l'occlusive pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement.....	212
Figure 35 : Représentation graphique de la Pio moyenne pendant toute la production de /p/ et de /b/ pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement	213
Figure 36 : Représentation graphique de la Pio moyenne pendant la production de l'occlusive en contexte vocalique [a_a] et [i_i] pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement.....	214
Figure 37 : Représentation graphique de la Pio moyenne pendant la production des occlusives /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	214
Figure 38 : Représentation graphique de la Pio moyenne pendant la production des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On.....	215
Figure 39 : Représentation graphique de la Pio moyenne pendant la production des occlusives selon le contexte vocalique [a_a] ou [i-i] pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	216
Figure 40 : Représentation graphique du Dab moyen pendant la tenue de l'occlusive pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement .....	218
Figure 41 : Représentation graphique du Dab moyen pendant la tenue de /p/ et de /b/ pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement .....	219
Figure 42 : Représentation graphique du Dab moyen pendant la tenue de l'occlusive en contexte vocalique [a_a] et [i_i] pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement.....	220
Figure 43 : Représentation graphique du Dab moyen pendant la phase de tenue des occlusives /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	221
Figure 44 : Représentation graphique du Dab moyen pendant la phases de tenue des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	221
Figure 45 : Représentation graphique du Dab moyen pendant la phase de tenue de l'occlusive selon le contexte vocalique [a_a] ou [i-i] pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	222
Figure 46 : Représentation graphique de la durée totale de l'occlusive pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement .....	224
Figure 47 : Durée totale des occlusives /p/ et /b/ pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement .....	225
Figure 48 : Durée de l'occlusive /p/ ou /b/ pour chaque sujet, tous contextes vocaliques confondus, selon la situation d'enregistrement .....	225
Figure 49 : Représentation graphique de la durée des occlusives /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	226
Figure 50 : Représentation graphique de la durée des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On.....	227
Figure 51 : Représentation graphique de la durée de l'occlusive selon le contexte vocalique [a_a] ou [i-i] pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On.....	227
Figure 52 : Représentation graphique de la durée de la phase de fermeture de l'occlusive pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement.....	230

Figure 53 : Représentation graphique de la durée de la phase de fermeture de /p/ et de /b/ pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement.....	230
Figure 54 : Représentation graphique de la durée de la phase de fermeture de l'occlusive en contexte vocalique [a_a] et [i_i] pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement.....	231
Figure 55 : Représentation graphique de la durée de la phase de fermeture de l'occlusive, /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	232
Figure 56 : Représentation graphique de la durée de la phase de fermeture des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	232
Figure 57 : Représentation graphique de la durée de la phase de fermeture de l'occlusive selon le contexte vocalique [a_a] ou [i-i] pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	233
Figure 58 : Représentation graphique de la durée de la phase de tenue de l'occlusive pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement .....	235
Figure 59 : Représentation graphique de la durée de la phase de tenue pour /p/ et /b/ pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement .....	236
Figure 60 : Représentation graphique de la durée de la phase de tenue de l'occlusive en contexte vocalique [a_a] et [i_i] pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement.....	237
Figure 61 : Représentation graphique de la durée de la phase de tenue de l'occlusive, /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	237
Figure 62 : Représentation graphique de la phase de fermeture des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	238
Figure 63 : Représentation graphique de la durée de la phase de tenue de l'occlusive selon le contexte vocalique [a_a] ou [i-i] pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	239
Figure 64 : Représentation graphique de la durée de la phase d'ouverture de l'occlusive pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement.....	240
Figure 65 : Représentation graphique de la durée de la phase d'ouverture de /p/ et de /b/ pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement.....	241
Figure 66 : Représentation graphique de la durée de la phase d'ouverture de l'occlusive en contexte vocalique [a_a] et [i_i] pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement.....	242
Figure 67 : Représentation graphique de la durée de la phase d'ouverture de l'occlusive, /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	242
Figure 68 : Représentation graphique de la phase d'ouverture des occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	243
Figure 69 : Représentation graphique de la durée de la phase d'ouverture de l'occlusive selon le contexte vocalique [a_a] ou [i-i] pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	244
Figure 70 : Représentation graphique de la durée des trois phases articulatoires de l'occlusive, /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus, pour chacun des 10 sujets, selon la condition d'enregistrement.....	245

Figure 71 : Représentation graphique de la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement.....	247
Figure 72 : Représentation graphique de la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour /p/ et de /b/ pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement.....	248
Figure 73 : Représentation graphique de la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour les occlusives en contexte vocalique [a_a] et [i_i] pour les 5 sujets L-dopa et les 5 sujets SST selon la condition d'enregistrement .....	249
Figure 74 : Représentation graphique de la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6, /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	250
Figure 75 : Représentation graphique de la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 pour les occlusives /p/ et /b/, contextes vocaliques confondus pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	250
Figure 76 : Représentation graphique de la durée de l'intervalle entre les étiquettes 3 et 6 selon le contexte vocalique [a_a] ou [i-i] pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et en état On .....	251
Figure 77: Représentation graphique du pourcentage d'occlusives dont les événements de Pio et de Dab sont synchronisés pour /p/ et /b/ pour chacun des 10 parkinsoniens en condition Off et On .....	253
Figure 78: Occlusive dont les événements de Pio et de Dab sont synchronisés, 2° répétition de [aba] chez le sujet d05 en état Off.....	254
Figure 79: Représentation graphique du pourcentage d'occlusives dont les événements de Pio et de Dab ne sont pas synchronisés avec une augmentation du Dab qui commence avant le commencement de la diminution de la Pio pour /p/ et /b/ pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et On.....	255
Figure 80: Occlusive dont les événements de Pio et de dab ne sont pas synchronisés et pour laquelle le Dab commence à augmenter avant le début de la diminution de la Pio, 4° répétition de [ipi] chez le sujet s05 en état Off.....	255
Figure 81: Représentation graphique du pourcentage d'occlusives dont les événements de Pio et de Dab ne sont pas synchronisés avec une diminution de la Pio qui commence avant le début de l'augmentation du Dab pour /p/ et /b/ pour chacun des 10 parkinsoniens en état Off et On.....	256
Figure 82: Occlusive dont les événements de Pio et de dab ne sont pas synchronisés et pour laquelle la Pio commence à diminuer avant le début de l'augmentation du Dab, 11° répétition de [apa] chez le sujet d04 en état Off.....	257
Figure 83: Trace de voisement par assimilation incomplète sur l'occlusive /t/ dans le mot "blette" d'après Snoeren et al. In press, 2005. ....	260
Figure 84: Barre d'explosion jugée très faible, 7° répétition de [ibi] chez le sujet d01 en condition On.....	261
Figure 85: Barre d'explosion recouverte par du bruit de friction, 5° répétition de [apa] chez s05 en condition On.....	262
Figure 86: bruit de friction pendant la tenue de l'occlusion, 2° répétition de [apa] chez le sujet s03 en condition On.....	263
Figure 87: Barre d'explosion jugée fricative avec présence de bruit de friction pendant la tenue de l'occlusion, 2° répétition de [apa] chez le sujet d02 en condition On.....	263
Figure 88: cas de perte et de reprise du voisement pendant la phase de tenue, 5° répétition de [aba] chez le sujet s03 en condition On.....	264
Figure 89: structure formantique présente pendant la tenue de l'occlusion, 8° répétition de [aba] chez le sujet s03 en condition On.....	264

Figure 90: Barre de voisement très faible pendant la phase d'occlusion, 3 <sup>o</sup> répétition de [aba]	265
Figure 91: Représentation graphique du pourcentage moyen de voisement pour /p/ en condition Off et en condition On pour chaque sujet	267
Figure 92: Occlusive non voisée avec une durée de voisement représentant 100 % de la durée de la tenue, 10 <sup>o</sup> répétition de [apa] chez le sujet s05 en On	267
Figure 93: Occlusive non voisée avec une durée de voisement représentant 20 % de la durée de la tenue, 2 <sup>o</sup> répétition de [apa] chez le sujet s05 en On	268
Figure 94: Représentation graphique du pourcentage moyen de voisement pour /b/ en condition Off et en condition On pour chaque sujet	269
Figure 95: Occlusive voisée partiellement dévoisée, 4 <sup>o</sup> répétition de [aba] chez d05 On	270
Figure 96: Occlusive voisée dévoisée et fricative, 9 <sup>o</sup> répétition de /b/ chez le s02 Off	270
Figure 97: Pourcentage total d'occlusives produites avec une barre d'explosion, tous sujets confondus en condition Off et On	271
Figure 98: Pourcentage d'occlusives produites avec une barre d'explosion jugée faible, tous sujets confondus en condition Off et On	271
Figure 99: Représentation graphique du pourcentage d'occlusives réalisées avec une barre d'explosion pour chaque sujet en Off et en On	272
Figure 100: Occlusive réalisée sans barre d'explosion, 1 <sup>o</sup> répétition de /b/ chez le sujet s01 On	272
Figure 101: Pourcentage d'occlusives réalisées avec du bruit de friction pendant la tenue de l'occlusion	274
Figure 102: Représentation graphique du pourcentage d'occlusives réalisées avec du bruit de friction pendant l'occlusion	275
Figure 103: Pourcentage d'occlusives produites avec du bruit de friction au relâchement de l'occlusion	276
Figure 104: Représentation graphique du pourcentage d'occlusives réalisées avec du bruit de friction au relâchement de l'occlusion pour chaque sujet en condition Off et On	277
Figure 105: Représentation graphique du pourcentage d'occlusives reconnues comme occlusives cibles ou pourcentage d'intelligibilité pour chaque sujet, /p/ et /b/ confondues, contextes vocaliques confondus, selon la condition d'enregistrement	280
Figure 106: Représentation graphique du pourcentage d'occlusives transcrites par le symbole de l'occlusive cible pour /p/ et /b/ pour chacun des 10 parkinsoniens en condition Off et On	281

## ANNEXES

sujet	session	état	cv	répétition	dur14	dur15	dur56	dur64	dur36	dab56	pio14	piop
d01	A	off	ap	1	159,1	36,7	75,0	47,4	-6,0	0,05	7,5	10,1
d01	A	off	ap	2	161,0	38,0	63,8	59,1	-21,8	-0,01	7,1	9,4
d01	A	off	ap	3	162,1	25,3	89,4	47,4	-13,6	0,03	7,5	9,8
d01	A	off	ap	4	172,2	22,8	107,7	41,6	-5,3	0,02	8,5	11,3
d01	A	off	ap	5	158,9	24,7	91,4	42,8	-5,7	-0,01	7,5	10,6
d01	A	off	ap	6	164,4	25,8	104,3	34,3	-5,1	0,04	7,4	9,4
d01	A	off	ap	7	173,7	40,0	98,9	34,9	-6,5	0,01	8,1	10,5
d01	A	off	ap	8	188,7	30,1	123,8	34,8	-3,1	0,03	8,2	10,4
d01	A	off	ap	9	153,3	18,8	94,6	39,9	-4,5	0,02	7,1	9,9
d01	A	off	ap	10	144,4	23,1	87,4	33,9	1,8	0,05	7,7	10,7
d01	A	off	ap	11	149,4	25,8	47,9	75,8	-27,9	0,06	6,7	10,1
d01	A	off	ap	12								
d01	A	off	ab	1	142,2	17,3	92,6	32,2	0,3	0,00	3,4	5,5
d01	A	off	ab	2	125,9	8,0	88,6	29,3	0,3	0,02	3,3	5,9
d01	A	off	ab	3	133,8	20,0	83,0	30,7	0,0	0,02	3,6	5,7
d01	A	off	ab	4	139,7	23,6	84,0	32,1	-0,6	0,03	3,6	6,3
d01	A	off	ab	5	134,3	17,3	80,4	36,6	-2,0	0,02	3,7	6,4
d01	A	off	ab	6	127,4	21,8	55,0	50,6	-4,8	0,05	3,0	5,1
d01	A	off	ab	7	136,8	19,5	79,2	38,0	0,0	0,03	3,1	5,8
d01	A	off	ab	8	118,1	14,6	66,9	36,6	-0,4	0,03	3,0	5,4
d01	A	off	ab	9	138,0	14,8	85,8	37,4	-2,6	0,04	3,5	6,5
d01	A	off	ab	10	147,6	18,9	84,7	44,0	-3,0	0,03	3,7	7,1
d01	A	off	ab	11	129,4	22,2	74,9	32,3	-3,1	0,03	3,4	5,0
d01	A	off	ab	12								
d01	A	off	ip	1	229,7	40,2	115,9	73,6	-7,4	-0,01	7,5	11,7
d01	A	off	ip	2	246,0	62,7	114,0	69,3	-3,0	0,00	6,4	11,2
d01	A	off	ip	3	203,6	48,6	96,9	58,2	-6,0	-0,01	6,9	10,8
d01	A	off	ip	4	227,2	59,4	109,3	58,6	-3,8	-0,02	7,0	11,6
d01	A	off	ip	5	195,3	50,0	91,2	54,1	-5,9	0,01	6,4	10,1
d01	A	off	ip	6	198,8	39,5	111,2	48,1	-2,6	0,00	6,9	10,2
d01	A	off	ip	7	237,1	70,2	116,4	50,4	-2,6	-0,01	5,9	10,2
d01	A	off	ip	8	199,2	40,6	103,9	54,8	-3,1	-0,02	6,6	10,1
d01	A	off	ip	9	203,6	38,6	105,5	59,6	-5,5	-0,01	6,4	9,9
d01	A	off	ip	10	198,2	44,4	93,1	60,8	-5,6	0,00	6,3	9,8
d01	A	off	ip	11	201,2	34,3	111,6	55,3	-6,2	0,00	6,4	9,7
d01	A	off	ip	12								
d01	A	off	ib	1	159,9	24,2	82,2	53,4	0,0	0,01	4,3	6,8
d01	A	off	ib	2	131,2	18,8	66,3	46,0	0,0	0,02	3,6	5,6
d01	A	off	ib	3	156,4	32,8	67,9	55,6	-0,6	0,05	2,9	4,8
d01	A	off	ib	4	188,9	65,6	64,4	58,8	2,0	0,06	2,4	5,3
d01	A	off	ib	5	210,5	72,4	81,2	57,0	0,0	0,04	3,3	7,2
d01	A	off	ib	6	184,5	54,6	77,9	52,0	1,4	0,03	3,3	6,7
d01	A	off	ib	7	181,5	63,7	65,0	52,7	3,1	0,06	2,6	5,3

Annexes

d01	A	off	ib	8	152,0	33,4	64,4	54,2	-6,4	0,05	3,3	6,1
d01	A	off	ib	9	205,1	65,2	63,6	76,4	0,2	0,05	2,8	5,6
d01	A	off	ib	10	172,2	42,6	67,7	61,9	0,0	0,03	3,4	6,1
d01	A	off	ib	11	146,6	31,9	66,3	48,3	0,0	0,05	3,3	5,6
d01	A	off	ib	12								
d01	A	on	ap	1	154,3	31,0	41,4	81,9	0,4	0,05	5,3	8,8
d01	A	on	ap	2	174,2	23,9	108,1	42,2	-4,6	0,03	7,0	9,8
d01	A	on	ap	3	182,2	27,0	116,5	38,7	2,7	0,04	6,9	9,2
d01	A	on	ap	4	170,7	29,4	97,4	43,9	3,3	0,03	7,0	9,8
d01	A	on	ap	5	182,6	30,0	109,0	43,6	7,8	0,04	7,0	9,8
d01	A	on	ap	6	184,6	39,4	108,1	37,1	1,3	0,02	7,0	9,3
d01	A	on	ap	7	179,8	58,8	67,3	53,6	-9,7	0,02	6,7	9,6
d01	A	on	ap	8	175,8	38,6	97,0	40,2	-3,3	0,03	7,5	11,0
d01	A	on	ap	9	170,2	48,7	71,1	50,4	-13,4	0,06	7,0	9,8
d01	A	on	ap	10	189,4	25,6	119,2	44,6	2,9	0,06	6,7	9,6
d01	A	on	ap	11	180,1	23,2	110,7	46,2	0,0	0,04	6,9	9,5
d01	A	on	ap	12	164,3	31,4	69,7	63,2	-5,2	0,07	6,9	10,7
d01	A	on	ab	1	142,0	21,1	75,5	45,5	-10,2	0,02	3,1	5,7
d01	A	on	ab	2	157,5	25,1	88,7	43,7	3,1	0,07	3,1	5,4
d01	A	on	ab	3	173,4	20,7	101,7	51,1	0,0	0,06	3,9	6,5
d01	A	on	ab	4	152,8	21,0	96,6	35,2	0,4	0,08	2,9	4,6
d01	A	on	ab	5	165,1	18,8	87,7	58,6	0,0	0,08	3,9	6,6
d01	A	on	ab	6	151,6	19,5	87,9	44,1	0,0	0,06	3,5	6,2
d01	A	on	ab	7	158,3	21,0	86,3	51,1	-4,4	0,08	3,2	6,1
d01	A	on	ab	8	169,8	24,9	96,2	48,7	0,0	0,07	3,8	6,4
d01	A	on	ab	9	174,6	32,8	90,3	51,5	0,0	0,06	3,7	6,6
d01	A	on	ab	10	153,5	24,5	77,0	52,0	0,0	0,07	4,2	7,1
d01	A	on	ab	11	169,4	26,6	97,3	45,5	0,0	0,07	3,2	5,5
d01	A	on	ab	12	148,6	22,8	83,4	42,4	-3,7	0,04	3,6	6,9
d01	A	on	ip	1	217,6	37,0	130,2	50,4	41,1	0,03	8,4	12,0
d01	A	on	ip	2	224,0	39,7	110,7	73,5	-14,9	0,03	7,0	10,4
d01	A	on	ip	3	252,4	40,0	149,7	62,7	-10,0	0,03	7,7	10,3
d01	A	on	ip	4	228,0	54,6	116,8	56,6	-14,7	0,03	7,6	10,1
d01	A	on	ip	5	249,4	51,4	137,9	60,1	-5,5	0,06	7,1	10,7
d01	A	on	ip	6	242,0	34,4	143,4	64,2	-11,3	0,05	7,6	10,7
d01	A	on	ip	7	225,7	45,3	111,4	69,0	-12,1	0,05	7,7	10,9
d01	A	on	ip	8	209,6	40,6	76,7	92,4	-29,4	0,06	7,5	11,1
d01	A	on	ip	9	223,2	45,5	123,7	54,0	-4,6	0,05	7,9	11,5
d01	A	on	ip	10	237,2	48,2	117,0	72,0	-8,3	0,05	7,3	10,7
d01	A	on	ip	11	224,5	36,3	136,8	51,4	-3,2	0,05	7,7	10,5
d01	A	on	ip	12	216,2	31,0	133,7	51,6	12,0	0,05	8,4	11,7
d01	A	on	ib	1	169,5	34,8	86,8	47,8	2,7	0,05	4,0	6,4
d01	A	on	ib	2	150,0	29,3	53,4	67,3	-4,3	0,06	4,8	6,9
d01	A	on	ib	3	162,8	32,4	52,4	78,0	-3,1	0,10	3,9	5,7
d01	A	on	ib	4	164,7	36,9	80,5	47,3	0,0	0,06	4,8	6,7
d01	A	on	ib	5	150,4	34,6	41,4	74,4	-15,6	0,10	4,4	6,8
d01	A	on	ib	6	173,8	33,4	75,5	64,9	8,6	0,07	3,7	5,6
d01	A	on	ib	7	163,5	30,4	89,8	43,2	25,8	0,08	4,4	6,3
d01	A	on	ib	8	157,9	38,5	54,8	64,6	18,0	0,12	3,1	4,8
d01	A	on	ib	9	194,5	33,1	114,5	46,8	-2,4	0,05	4,7	6,9

## Annexes

d01	A	on	ib	10	189,3	39,5	95,4	54,4	3,5	0,06	4,9	7,7
d01	A	on	ib	11	179,8	39,3	93,0	47,6	9,1	0,09	4,0	6,3
d01	A	on	ib	12	188,2	35,6	105,5	47,0	17,2	0,09	4,7	7,2
d02	A	off	ap	1	210,7	46,2	115,8	48,8	5,9	0,01	6,4	9,0
d02	A	off	ap	2	208,8	23,3	139,6	45,9	-2,6	0,01	6,5	8,8
d02	A	off	ap	3	200,1	28,3	129,0	42,8	-2,9	0,02	5,5	8,0
d02	A	off	ap	4	201,1	33,3	121,6	46,2	2,4	0,01	6,3	8,8
d02	A	off	ap	5	199,2	33,3	120,0	45,9	-4,6	0,02	6,0	8,3
d02	A	off	ap	6	199,2	29,9	117,4	52,0	-8,5	0,02	5,9	8,2
d02	A	off	ap	7	185,8	29,4	107,8	48,6	-5,0	0,03	5,8	8,0
d02	A	off	ap	8	190,2	30,6	106,8	52,8	-10,2	0,02	5,9	8,6
d02	A	off	ap	9	192,7	32,1	107,3	53,2	-1,1	0,04	6,1	8,8
d02	A	off	ap	10	177,5	24,6	108,4	44,5	-6,9	0,02	5,5	8,1
d02	A	off	ap	11	189,0	22,4	112,0	54,5	-10,5	0,02	5,5	7,8
d02	A	off	ap	12								
d02	A	off	ab	1	154,1	21,7	91,9	40,5	7,4	0,00	3,4	5,6
d02	A	off	ab	2	137,2	28,2	66,1	43,0	12,7	0,02	3,2	5,0
d02	A	off	ab	3	139,8	18,4	83,5	37,9	4,2	0,01	2,9	4,7
d02	A	off	ab	4	137,1	20,5	72,9	43,6	-0,5	0,02	3,2	4,9
d02	A	off	ab	5	122,0	19,7	59,7	42,5	2,1	0,05	2,6	4,2
d02	A	off	ab	6	143,0	28,2	76,7	38,1	9,0	0,01	3,4	5,3
d02	A	off	ab	7	134,4	20,2	76,1	38,1	1,1	0,02	3,0	4,6
d02	A	off	ab	8	114,4	17,1	62,8	34,4	2,1	0,02	2,5	4,1
d02	A	off	ab	9	119,2	22,5	62,4	34,3	0,5	0,02	2,7	4,5
d02	A	off	ab	10	120,7	35,2	57,1	28,4	33,8	0,02	3,0	4,2
d02	A	off	ab	11	126,0	29,0	61,3	35,7	5,3	0,05	3,3	5,4
d02	A	off	ab	12								
d02	A	off	ip	1	220,2	29,4	107,3	83,5	5,3	-0,01	5,9	10,7
d02	A	off	ip	2	202,7	24,5	126,6	51,6	-8,6	-0,02	6,7	9,6
d02	A	off	ip	3	224,4	21,7	129,2	73,6	-18,0	-0,02	6,4	9,5
d02	A	off	ip	4	195,4	22,0	111,6	61,8	-1,9	-0,03	6,1	9,9
d02	A	off	ip	5	181,9	28,6	95,7	57,6	-8,2	-0,02	5,9	9,2
d02	A	off	ip	6	212,6	26,0	118,4	68,2	-2,7	-0,02	5,9	9,5
d02	A	off	ip	7	232,4	29,0	102,0	101,3	-5,4	-0,02	4,8	9,5
d02	A	off	ip	8	193,5	29,7	95,6	68,2	-11,0	-0,01	5,3	8,9
d02	A	off	ip	9	224,6	29,3	112,1	83,3	-2,6	-0,03	5,8	10,1
d02	A	off	ip	10	194,8	26,0	108,9	59,8	-5,1	-0,02	5,9	9,6
d02	A	off	ip	11	226,9	23,5	114,6	88,8	-3,9	-0,01	5,2	9,0
d02	A	off	ip	12								
d02	A	off	ib	1	191,2	22,0	71,3	97,8	1,6	-0,03	3,0	7,0
d02	A	off	ib	2	151,6	22,8	79,2	49,6	2,1	-0,03	3,2	5,7
d02	A	off	ib	3	142,4	24,6	66,6	51,2	-0,6	-0,01	3,3	5,7
d02	A	off	ib	4	149,4	30,8	66,1	52,6	3,7	-0,02	3,0	5,6
d02	A	off	ib	5	149,4	22,3	68,7	58,4	-2,1	-0,03	2,9	5,5
d02	A	off	ib	6	150,4	23,5	75,1	51,8	4,2	-0,01	3,2	5,4
d02	A	off	ib	7	146,2	31,6	61,3	53,3	0,0	-0,01	3,5	6,4
d02	A	off	ib	8	139,2	31,8	49,2	58,2	-4,2	0,01	3,0	5,6
d02	A	off	ib	9	144,3	37,2	38,0	69,0	-5,8	0,04	2,7	5,3
d02	A	off	ib	10	148,2	23,0	64,5	60,7	-5,8	-0,02	3,5	6,4
d02	A	off	ib	11	134,7	29,1	62,9	42,7	0,0	0,03	3,3	5,5

## Annexes

d02	A	off	ib	12	125,8	22,0	57,6	46,2	3,7	-0,03	2,5	4,2
d02	A	on	ap	1	219,8	42,5	104,3	73,0	-6,9	0,10	6,9	10,7
d02	A	on	ap	2	199,8	34,8	122,0	43,0	5,0	0,07	7,4	10,4
d02	A	on	ap	3	201,8	35,1	107,0	59,7	-6,8	0,09	7,3	11,2
d02	A	on	ap	4	192,3	21,8	120,0	50,6	-2,3	0,05	6,8	10,7
d02	A	on	ap	5	190,0	39,3	100,9	49,8	0,1	0,06	6,7	10,3
d02	A	on	ap	6	203,8	43,0	114,5	46,4	0,1	0,13	6,3	9,7
d02	A	on	ap	7	200,4	31,4	132,2	36,8	4,4	0,10	7,3	10,2
d02	A	on	ap	8	195,0	20,4	125,4	49,1	3,8	0,09	6,7	10,1
d02	A	on	ap	9	186,1	27,9	116,5	41,7	6,4	0,09	6,7	10,2
d02	A	on	ap	10	188,1	27,2	118,6	42,3	6,9	0,08	6,6	10,1
d02	A	on	ap	11	179,2	33,4	104,3	41,6	4,4	0,10	6,5	9,6
d02	A	on	ap	12	181,5	23,2	122,7	35,6	5,8	0,08	6,6	10,6
d02	A	on	ab	1	143,5	23,6	90,7	29,3	-5,5	0,09	4,3	7,4
d02	A	on	ab	2	139,0	28,6	63,4	47,0	4,8	0,16	2,9	4,8
d02	A	on	ab	3	158,8	21,1	94,7	43,0	-2,0	0,10	4,3	7,4
d02	A	on	ab	4	137,6	20,4	77,0	40,2	-2,6	0,12	4,0	6,8
d02	A	on	ab	5	136,8	24,2	68,8	43,8	1,1	0,12	3,1	5,3
d02	A	on	ab	6	137,0	34,1	55,9	47,0	0,6	0,14	2,9	5,3
d02	A	on	ab	7	134,5	30,8	55,8	47,8	6,1	0,17	2,2	3,9
d02	A	on	ab	8	132,2	19,1	67,5	45,6	0,0	0,16	2,7	4,7
d02	A	on	ab	9	138,5	18,5	81,1	38,9	9,5	0,16	2,8	4,9
d02	A	on	ab	10	120,0	32,0	45,7	42,3	0,9	0,14	2,5	4,2
d02	A	on	ab	11	147,4	26,7	75,7	45,0	1,4	0,13	3,6	6,0
d02	A	on	ab	12	124,0	0,0	124,7	-0,8	42,2	0,20	2,1	3,4
d02	A	on	ip	1	231,8	38,2	152,7	41,0	6,8	0,16	8,2	11,2
d02	A	on	ip	2	219,4	40,2	135,6	43,6	2,6	0,14	6,8	10,6
d02	A	on	ip	3	184,0	30,0	100,9	53,2	-1,0	0,12	6,6	11,0
d02	A	on	ip	4	173,8	25,2	108,4	40,2	7,9	0,14	6,5	10,9
d02	A	on	ip	5	180,6	26,6	106,4	47,7	1,8	0,14	6,6	11,2
d02	A	on	ip	6	186,2	30,6	112,5	43,0	7,6	0,14	6,9	11,1
d02	A	on	ip	7	186,7	24,5	107,7	54,5	2,8	0,14	6,5	11,5
d02	A	on	ip	8	188,1	24,5	116,6	47,0	-0,4	0,13	7,7	12,6
d02	A	on	ip	9	200,4	23,2	132,2	45,0	4,9	0,14	8,3	12,4
d02	A	on	ip	10	190,9	26,8	118,8	45,4	4,0	0,14	7,5	
d02	A	on	ip	11	184,6	29,0	104,7	50,9	5,7	0,12	6,7	11,1
d02	A	on	ip	12	157,0	24,0	84,8	48,1	8,5	0,10	8,1	13,0
d02	A	on	ib	1	223,4	32,5	79,2	111,7	0,0	0,10	3,9	9,1
d02	A	on	ib	2	144,4	27,0	58,0	59,4	0,0	0,14	4,2	7,6
d02	A	on	ib	3	145,7	34,0	60,8	51,0	4,2	0,17	3,2	5,9
d02	A	on	ib	4	175,4	46,7	69,2	59,4	12,7	0,17	3,3	6,8
d02	A	on	ib	5	158,4	25,4	79,2	53,8	0,0	0,14	3,4	6,7
d02	A	on	ib	6	141,4	32,5	58,0	50,9	2,8	0,17	3,0	5,5
d02	A	on	ib	7	174,0	39,6	86,2	48,1	5,6	0,15	3,5	6,7
d02	A	on	ib	8	164,1	24,0	94,8	45,3	1,4	0,13	4,5	8,1
d02	A	on	ib	9	147,1	19,8	77,7	49,5	4,2	0,14	3,9	7,1
d02	A	on	ib	10	169,7	35,4	63,7	70,7	-1,4	0,17	3,4	6,6
d02	A	on	ib	11	158,4	29,7	49,5	79,2	-7,0	0,14	3,0	6,1
d02	A	on	ib	12	121,6	22,6	45,3	53,7	0,0	0,15	3,0	
d03	A	off	ap	1	223,8	49,7	93,2	80,9	2,4	0,03	4,8	7,6

Annexes

d03	A	off	ap	2	229,2	49,0	96,4	83,8	-15,4	0,05	4,3	6,9
d03	A	off	ap	3	231,6	72,2	79,1	80,3	-3,1	0,08	4,0	6,7
d03	A	off	ap	4	240,8	64,5	90,0	86,3	-9,2	0,07	4,2	7,1
d03	A	off	ap	5	240,3	60,0	103,4	76,8	-9,9	0,04	4,1	6,7
d03	A	off	ap	6	220,8	58,0	72,2	90,7	-23,1	0,06	4,0	6,5
d03	A	off	ap	7	217,0	60,0	102,2	54,7	-4,5	0,06	4,4	6,3
d03	A	off	ap	8	221,0	51,9	92,4	76,6	-10,2	0,07	4,3	6,8
d03	A	off	ap	9	234,8	40,1	133,4	61,3	3,0	0,09	4,6	6,9
d03	A	off	ap	10	212,0	50,2	99,9	61,8	-7,4	0,09	4,0	6,4
d03	A	off	ap	11	215,2	41,4	109,7	64,1	-6,0	0,05	4,4	6,6
d03	A	off	ap	12								
d03	A	off	ab	1	203,0	47,6	85,9	69,5	-14,0	0,06	2,4	4,7
d03	A	off	ab	2	175,6	31,2	76,2	68,2	-21,4	0,05	2,1	4,2
d03	A	off	ab	3	189,0	42,8	89,6	56,8	-2,3	0,06	2,4	4,2
d03	A	off	ab	4	181,4	30,1	95,3	56,0	-1,2	0,05	2,4	4,9
d03	A	off	ab	5	191,2	46,8	79,1	65,2	-6,4	0,06	1,8	3,8
d03	A	off	ab	6	174,4	30,0	86,1	58,3	-6,9	0,06	1,8	3,9
d03	A	off	ab	7	180,8	32,3	83,8	64,7	-12,7	0,06	1,7	2,9
d03	A	off	ab	8	198,6	49,0	69,8	79,7	-10,4	0,09	1,6	3,4
d03	A	off	ab	9	159,3	28,9	75,7	54,7	-6,9	0,09	1,8	3,6
d03	A	off	ab	10	160,0	41,0	53,1	65,9	-13,3	0,07	1,5	3,2
d03	A	off	ab	11	174,4	37,6	82,6	54,3	-3,4	0,07	1,8	3,8
d03	A	off	ab	12	167,8	39,3	78,9	49,7	-5,9	0,08	1,7	3,6
d03	A	off	ip	1	223,3	52,7	104,8	65,8	20,3	0,10	3,7	6,2
d03	A	off	ip	2	249,8	29,2	120,9	99,7	36,2	0,18	2,5	5,0
d03	A	off	ip	3	200,6	39,0	59,1	102,4	-21,4	0,12	3,3	5,8
d03	A	off	ip	4	209,2	27,6	105,2	76,4	26,3	0,20	2,6	5,0
d03	A	off	ip	5	209,2	38,0	71,7	99,6	-6,7	0,19	2,8	5,2
d03	A	off	ip	6	207,7	46,5	74,1	87,1	-1,4	0,13	3,3	5,9
d03	A	off	ip	7	193,0	40,7	77,6	74,6	-13,2	0,19	3,1	5,5
d03	A	off	ip	8	196,2	45,3	72,5	78,4	-7,5	0,14	3,4	5,9
d03	A	off	ip	9	229,0	69,0	74,5	85,5	-2,4	0,10	3,0	5,5
d03	A	off	ip	10	191,9	45,7	61,2	85,0	-5,5	0,12	3,6	6,5
d03	A	off	ip	11	210,7	44,1	102,4	64,1	21,6	0,16	2,9	4,9
d03	A	off	ip	12	187,2	37,8	64,2	85,1	5,1	0,16	3,5	6,1
d03	A	off	ib	1	222,3	42,7	105,8	73,8	9,6	0,06	2,2	3,6
d03	A	off	ib	2	179,6	31,4	89,6	58,7	-14,4	0,07	1,5	2,2
d03	A	off	ib	3	166,2	47,6	71,8	46,7	11,1	0,09	1,7	2,6
d03	A	off	ib	4	185,6	38,4	86,5	60,7	-13,1	0,10	1,6	2,4
d03	A	off	ib	5	211,8	51,7	62,8	97,4	-26,0	0,15	1,4	2,6
d03	A	off	ib	6	201,9	51,1	88,1	62,7	-5,0	0,10	1,7	
d03	A	off	ib	7	178,1	37,4	82,5	58,2	-1,0	0,10	1,6	3,0
d03	A	off	ib	8	167,0	35,4	78,9	52,6	24,8	0,10	1,5	2,5
d03	A	off	ib	9	167,9	28,8	93,5	45,5	20,7	0,10	2,0	3,1
d03	A	off	ib	10	201,4	41,0	105,3	55,1	-4,0	0,09	1,8	3,3
d03	A	off	ib	11	175,5	35,4	69,8	70,3	-0,5	0,15	1,4	2,2
d03	A	off	ib	12								
d03	A	on	ap	1	204,7	52,1	76,6	76,0	-6,4	-0,03	5,1	8,6
d03	A	on	ap	2	212,6	36,9	112,4	63,3	-4,2	-0,02	4,8	7,3
d03	A	on	ap	3	224,4	40,1	115,5	68,8	-5,4	0,00	4,6	7,1

Annexes

d03	A	on	ap	4	217,3	49,6	108,7	59,1	-2,1	-0,01	4,8	7,4
d03	A	on	ap	5	208,2	48,8	109,7	49,6	-3,7	0,00	4,4	6,2
d03	A	on	ap	6	204,4	57,0	100,7	46,8	-1,8	0,00	4,5	6,4
d03	A	on	ap	7	188,6	31,4	107,0	50,1	-4,5	0,00	4,2	6,2
d03	A	on	ap	8	190,4	32,7	109,2	48,5	-3,7	0,00	4,0	5,8
d03	A	on	ap	9	183,0	39,0	99,7	44,3	-4,7	0,01	4,0	5,9
d03	A	on	ap	10	192,5	42,7	100,2	49,6	-1,8	0,00	3,8	5,6
d03	A	on	ap	11	207,3	48,0	108,6	50,6	-2,6	0,00	3,8	5,6
d03	A	on	ap	12								
d03	A	on	ab	1	159,0	31,6	91,8	35,5	30,1	0,00	2,9	4,6
d03	A	on	ab	2	167,6	38,8	80,2	48,5	24,3	0,00	2,9	4,8
d03	A	on	ab	3	164,0	39,0	70,7	54,3	29,0	0,00	2,3	4,0
d03	A	on	ab	4	148,2	28,5	78,5	41,2	2,6	0,01	2,8	4,7
d03	A	on	ab	5	159,4	22,3	83,9	53,3	3,2	0,00	2,5	4,3
d03	A	on	ab	6	147,2	29,0	74,9	43,2	5,3	0,00	2,9	4,9
d03	A	on	ab	7	150,8	39,3	63,3	48,2	29,6	0,04	1,8	2,9
d03	A	on	ab	8	125,2	28,1	52,2	44,8	3,7	0,07	1,9	3,3
d03	A	on	ab	9	146,2	28,0	70,1	48,1	1,1	0,03	2,3	4,2
d03	A	on	ab	10	132,4	31,1	47,4	53,8	5,3	0,07	2,1	3,5
d03	A	on	ab	11	156,8	34,3	73,8	48,6	-0,9	0,02	2,3	3,9
d03	A	on	ab	12	167,5	30,1	87,5	49,8	3,7	0,05	2,3	4,4
d03	A	on	ip	1	127,6	-42,2	119,8	50,2	2,0	0,01	4,7	7,2
d03	A	on	ip	2	193,8						4,2	7,3
d03	A	on	ip	3	236,8	29,6	130,3	77,0	-4,0	-0,01	4,2	6,9
d03	A	on	ip	4	209,4	32,7	112,3	64,4	-6,9	0,00	4,5	6,8
d03	A	on	ip	5	125,2	-32,6	106,6	51,2	1,7	0,02	4,2	6,5
d03	A	on	ip	6	159,2	-8,6	116,1	51,8	-5,2	-0,01	4,9	6,9
d03	A	on	ip	7	223,9	65,9	86,5	71,5	1,2	0,06	2,8	6,6
d03	A	on	ip	8	154,3	-6,6	103,9	57,0	4,0	0,01	4,9	7,1
d03	A	on	ip	9	201,5	28,5	97,0	76,0	-2,6	0,04	3,7	6,7
d03	A	on	ip	10	196,2	42,1	84,4	69,7	2,0	0,06	3,8	7,3
d03	A	on	ip	11	196,4	30,7	100,7	65,0	15,0	0,09	4,1	6,8
d03	A	on	ip	12								
d03	A	on	ib	1	147,4	-8,5	109,2	46,8	14,8	0,01	4,1	5,9
d03	A	on	ib	2	124,6	-11,4	84,9	51,0	9,0	0,03	2,8	4,4
d03	A	on	ib	3	124,5	-15,1	96,5	43,1	0,5	0,02	2,9	4,5
d03	A	on	ib	4	167,3	23,7	90,8	52,9	2,1	0,02	2,6	4,3
d03	A	on	ib	5	169,2	32,4	84,4	52,4	-2,6	0,01	2,8	5,1
d03	A	on	ib	6	99,7	-14,4	59,6	54,6	14,2	0,07	2,1	3,6
d03	A	on	ib	7	155,4	21,6	88,6	45,2	-0,5	0,02	2,9	4,8
d03	A	on	ib	8	155,5	35,1	61,7	58,7	11,1	0,08	2,4	4,0
d03	A	on	ib	9	154,9	36,3	63,3	55,3	0,0	0,09	1,8	3,3
d03	A	on	ib	10	162,4	30,2	77,0	55,2	0,0	0,07	2,3	3,9
d03	A	on	ib	11	168,5	35,5	79,6	53,4	12,6	0,07	2,3	4,1
d03	A	on	ib	12	144,4	28,1	50,6	65,6	4,2	0,08	2,3	4,0
d04	A	off	ap	1	258,2	50,6	154,4	53,1	-2,9	0,02	6,7	8,4
d04	A	off	ap	2	219,2	53,4	122,7	43,0	6,3	0,03	5,6	7,1
d04	A	off	ap	3	223,1	47,0	131,5	44,6	6,1	0,01	5,4	7,1
d04	A	off	ap	4	219,1	39,8	132,3	47,0	-2,5	0,00	5,2	7,1
d04	A	off	ap	5	214,4	31,9	141,0	41,4	7,5	0,01	5,4	7,5

Annexes

d04	A	off	ap	6	218,4	64,8	105,6	47,9	-3,4	0,02	5,6	7,4
d04	A	off	ap	7	211,2	59,0	112,3	39,8	8,4	0,01	5,8	7,7
d04	A	off	ap	8	219,9	55,0	122,7	42,2	11,2	0,01	5,8	7,7
d04	A	off	ap	9	214,3	45,4	134,7	34,2	15,2	0,02	5,1	6,5
d04	A	off	ap	10	220,8	57,4	122,7	40,6	4,6	0,02	5,5	7,2
d04	A	off	ap	11	233,5	55,3	137,2	41,0	19,3	0,02	5,3	6,8
d04	A	off	ap	12								
d04	A	off	ab	1	169,7	-23,1	159,6	33,2	-0,6	0,01	1,1	2,6
d04	A	off	ab	2	102,0	-74,0	136,3	39,6	-0,6	0,01	1,8	3,3
d04	A	off	ab	3	107,6	-93,2	160,4	40,4	-4,6	0,01	1,2	2,5
d04	A	off	ab	4	158,6	30,2	85,0	43,4	-5,1	0,01	1,3	3,0
d04	A	off	ab	5	148,2	46,7	59,3	42,2	59,0	0,02	1,2	1,7
d04	A	off	ab	6	161,8	53,2	65,0	43,6	-3,7	0,01	2,1	3,3
d04	A	off	ab	7	133,1	0,4	86,7	46,0	-10,1	0,04	1,2	2,3
d04	A	off	ab	8	148,2	64,6	39,3	44,3	43,4	0,02	2,4	4,0
d04	A	off	ab	9	131,5	39,1	50,5	41,9	44,2	0,03	1,1	1,5
d04	A	off	ab	10	148,2	44,9	52,1	51,2	-14,6	0,02	2,2	3,1
d04	A	off	ab	11	134,6	42,5	48,9	43,2	2,2	0,04	1,3	1,9
d04	A	off	ab	12								
d04	A	off	ip	1								
d04	A	off	ip	2								
d04	A	off	ip	3								
d04	A	off	ip	4								
d04	A	off	ip	5								
d04	A	off	ip	6								
d04	A	off	ip	7								
d04	A	off	ip	8								
d04	A	off	ip	9								
d04	A	off	ip	10								
d04	A	off	ip	11								
d04	A	off	ip	12								
d04	A	off	ib	1								
d04	A	off	ib	2								
d04	A	off	ib	3								
d04	A	off	ib	4								
d04	A	off	ib	5								
d04	A	off	ib	6								
d04	A	off	ib	7								
d04	A	off	ib	8								
d04	A	off	ib	9								
d04	A	off	ib	10								
d04	A	off	ib	11								
d04	A	off	ib	12								
d04	A	on	ap	1	187,8	21,1	124,6	42,1	0,1	0,01	6,0	8,4
d04	A	on	ap	2	180,5	26,3	109,0	45,2	-3,5	0,03	4,9	6,9
d04	A	on	ap	3	189,8	23,5	121,4	44,9	-3,0	0,03	5,4	7,9
d04	A	on	ap	4	184,4	24,2	111,4	48,8	-4,0	0,01	5,6	8,0
d04	A	on	ap	5	182,0	32,2	102,2	47,7	-1,9	0,01	5,7	8,1
d04	A	on	ap	6	180,8	24,8	111,5	44,6	-3,8	0,03	6,3	9,0
d04	A	on	ap	7	195,0	40,9	110,8	43,3	-1,7	0,01	6,7	9,6

## Annexes

d04	A	on	ap	8	166,0	44,6	74,9	46,4	-3,3	0,03	5,2	8,1
d04	A	on	ap	9	172,8	39,0	89,8	44,0	-3,0	0,00	5,3	7,7
d04	A	on	ap	10	175,0	46,8	86,1	42,1	-3,3	0,02	6,2	9,1
d04	A	on	ap	11	164,8	24,0	92,9	48,0	-1,9	0,04	5,9	8,6
d04	A	on	ap	12	179,6	30,4	108,4	40,8	-2,8	0,01	5,4	8,0
d04	A	on	ab	1	141,8	24,0	87,9	30,0	-5,4	0,05	2,6	3,5
d04	A	on	ab	2	126,4	19,8	75,0	31,5	-7,8	0,02	1,9	2,5
d04	A	on	ab	3	124,8	22,0	71,8	31,0	-3,6	0,06	2,0	3,2
d04	A	on	ab	4	128,2	23,5	72,3	32,4	-4,4	0,04	2,4	3,6
d04	A	on	ab	5	129,4	29,1	70,0	30,4	-2,5	0,01	1,5	2,2
d04	A	on	ab	6	117,0	21,0	63,1	32,8	-1,0	0,02	2,1	3,5
d04	A	on	ab	7	116,9	16,7	79,2	20,9	-2,1	0,03	1,8	2,5
d04	A	on	ab	8	122,6	21,7	69,3	31,6	0,6	0,05	2,0	3,6
d04	A	on	ab	9	127,6	23,5	71,2	32,8	-3,1	0,02	2,1	3,8
d04	A	on	ab	10	120,2	31,0	64,4	24,8	-4,3	-0,01	0,9	1,6
d04	A	on	ab	11	124,4	24,7	73,0	26,6	0,0	0,01	1,5	2,6
d04	A	on	ab	12	119,0	31,0	63,1	24,8	60,7	-0,02	0,7	1,3
d04	A	on	ip	1	229,7	66,9	112,7	50,1	-3,2	0,00	6,3	10,3
d04	A	on	ip	2	177,2	23,0	109,6	44,6	-5,3	-0,01	6,1	8,9
d04	A	on	ip	3	158,5	19,8	109,6	29,1	-2,1	0,00	6,0	7,8
d04	A	on	ip	4	163,5	24,2	107,8	31,6	-2,3	0,01	6,3	8,2
d04	A	on	ip	5	188,5	30,6	122,0	35,9	-2,7	0,01	6,8	9,3
d04	A	on	ip	6	182,8	27,4	112,6	42,7	-2,8	0,02	6,9	9,6
d04	A	on	ip	7	221,7	17,4	143,1	61,3	-3,8	0,00	5,7	8,9
d04	A	on	ip	8	212,3	30,6	123,1	58,6	-3,6	0,00	5,9	8,8
d04	A	on	ip	9	235,6	28,0	117,8	89,8	-5,0	0,00	5,5	8,9
d04	A	on	ip	10	185,0	26,6	122,5	35,9	-2,9	0,00	6,7	8,9
d04	A	on	ip	11	186,3	18,6	135,8	31,9	-2,8	0,01	6,3	8,2
d04	A	on	ip	12								
d04	A	on	ib	1	129,1	33,3	61,9	34,0	-2,3	0,02	3,9	5,5
d04	A	on	ib	2	145,1	35,9	76,5	32,6	66,6	0,00	3,5	5,5
d04	A	on	ib	3	147,1	28,0	87,2	32,0	61,9	0,03	3,6	5,1
d04	A	on	ib	4	151,0	24,0	95,8	31,3	-1,4	0,01	3,1	4,4
d04	A	on	ib	5	145,1	21,9	97,2	26,0	-0,2	0,03	3,2	4,4
d04	A	on	ib	6	144,9	15,8	85,2	43,9	1,3	0,03	3,3	5,4
d04	A	on	ib	7	151,6	20,4	93,8	37,3	-4,0	0,01	3,4	6,0
d04	A	on	ib	8	145,1	16,6	97,9	30,6	2,6	0,04	3,3	4,5
d04	A	on	ib	9	121,1	5,3	83,1	32,6	-4,0	0,00	3,1	4,8
d04	A	on	ib	10	151,1	25,3	95,2	30,6	53,9	0,03	3,6	5,8
d04	A	on	ib	11	132,4	20,0	80,5	31,9	0,0	0,03	3,0	4,8
d04	A	on	ib	12	138,3	26,5	84,5	27,3	2,0	0,02	3,2	4,4
d04	B	off	ap	1								
d04	B	off	ap	2								
d04	B	off	ap	3								
d04	B	off	ap	4								
d04	B	off	ap	5								
d04	B	off	ap	6								
d04	B	off	ap	7								
d04	B	off	ap	8								
d04	B	off	ap	9								

## Annexes

d04	B	off	ap	10								
d04	B	off	ap	11								
d04	B	off	ap	12								
d04	B	off	ab	1								
d04	B	off	ab	2								
d04	B	off	ab	3								
d04	B	off	ab	4								
d04	B	off	ab	5								
d04	B	off	ab	6								
d04	B	off	ab	7								
d04	B	off	ab	8								
d04	B	off	ab	9								
d04	B	off	ab	10								
d04	B	off	ab	11								
d04	B	off	ab	12								
d04	B	off	ip	1	249,5	65,1	110,2	74,3	-2,8	0,03	6,4	10,2
d04	B	off	ip	2	216,0	38,4	29,6	147,9	-49,6	0,02	5,0	8,3
d04	B	off	ip	3		71,0	105,5		-6,3	0,01	0,0	9,1
d04	B	off	ip	4	252,5	77,9	106,3	68,3	-3,8	-0,01	6,4	9,9
d04	B	off	ip	5	245,6	45,4	89,8	110,5	-14,6	-0,01	6,9	10,4
d04	B	off	ip	6	241,6	35,5	133,1	73,0	-5,3	-0,01	7,1	10,5
d04	B	off	ip	7	238,7	45,4	118,3	75,0	-5,2	-0,01	6,4	9,2
d04	B	off	ip	8	248,6	45,4	132,4	70,8	-5,6	-0,02	7,1	10,6
d04	B	off	ip	9	238,4	52,3	136,6	49,6	-1,2	0,00	6,8	9,5
d04	B	off	ip	10	242,6	59,2	119,3	64,1	-4,8	0,01	6,7	9,0
d04	B	off	ip	11								
d04	B	off	ip	12								
d04	B	off	ib	1	178,5	46,4	80,8	51,4	-9,7	0,00	3,4	6,7
d04	B	off	ib	2	173,6	37,5	81,8	54,3	-5,9	0,00	2,9	5,4
d04	B	off	ib	3	165,7	45,4	79,9	40,4	75,9	0,00	3,0	4,6
d04	B	off	ib	4	153,4	43,4	22,7	87,3	-44,4	0,01	2,9	5,0
d04	B	off	ib	5	162,7	36,5	46,3	79,9	-37,5	0,02	2,5	3,9
d04	B	off	ib	6	150,8	39,3	29,7	81,8	-42,3	0,03	3,2	4,6
d04	B	off	ib	7	152,9	32,6	78,9	41,4	-6,9	-0,02	2,8	5,2
d04	B	off	ib	8	146,0	33,6	28,6	83,8	-50,3	-0,02	2,6	3,7
d04	B	off	ib	9	147,0	35,5	44,3	67,1	-22,2	0,02	4,2	6,6
d04	B	off	ib	10	150,9	39,4	34,5	77,0	-32,6	0,02	3,2	4,9
d04	B	off	ib	11	138,1	34,5	33,6	70,0	-36,0	0,04	3,5	5,0
d04	B	off	ib	12								
d05	A	off	ap	1	259,4	33,7	167,3	58,3	-5,5	0,05	5,2	8,0
d05	A	off	ap	2	250,8	24,3	185,5	41,0	-2,3	0,03	7,3	9,7
d05	A	off	ap	3	223,6	15,8	179,6	28,3	-4,7	0,02	6,5	8,6
d05	A	off	ap	4	214,1	33,9	70,4	109,8	-82,3	0,00	6,7	8,8
d05	A	off	ap	5	206,5	17,8	158,5	30,2	-3,4	0,04	6,3	7,6
d05	A	off	ap	6	207,2	19,0	161,5	26,6	-1,9	0,04	5,7	7,0
d05	A	off	ap	7	206,6	14,5	171,6	20,4	-1,8	0,03	6,3	7,5
d05	A	off	ap	8	198,9	20,4	155,9	22,6	0,0	0,03	5,9	7,6
d05	A	off	ap	9	194,7	19,7	156,5	18,4	-1,2	0,04	5,0	6,2
d05	A	off	ap	10	179,7	19,2	135,5	24,9	3,1	0,03	5,7	7,6
d05	A	off	ap	11	173,0	12,5	140,7	19,8	3,0	0,03	6,0	7,4

Annexes

d05	A	off	ap	12								
d05	A	off	ab	1	150,0	9,2	123,6	17,1	-0,9	0,05	4,1	5,3
d05	A	off	ab	2	148,6	12,5	115,1	21,0	0,0	0,03	4,2	7,2
d05	A	off	ab	3	136,2	10,5	107,2	18,4	-0,7	0,03	3,3	6,6
d05	A	off	ab	4	124,1	5,9	98,7	19,6	-3,6	0,03	3,4	6,3
d05	A	off	ab	5	120,4	9,8	91,5	19,1	-2,6	0,03	3,2	5,6
d05	A	off	ab	6	127,6	9,8	101,3	16,4	3,3	0,03	3,6	5,9
d05	A	off	ab	7	132,8	7,9	103,9	21,0	-2,0	0,04	3,2	5,9
d05	A	off	ab	8	129,2	10,1	96,0	23,0	-3,7	0,04	3,4	6,0
d05	A	off	ab	9	126,8	12,4	92,7	21,7	0,6	0,03	3,5	6,0
d05	A	off	ab	10	125,1	10,8	96,7	17,6	-1,6	0,04	4,1	6,6
d05	A	off	ab	11								
d05	A	off	ab	12								
d05	A	off	ip	1	276,9	23,0	138,4	115,4	-9,2	0,07	7,5	11,3
d05	A	off	ip	2	197,0	-15,1	117,7	94,4	-6,7	0,05	8,0	9,7
d05	A	off	ip	3	211,4	23,1	105,1	83,1	-19,5	0,05	2,3	5,8
d05	A	off	ip	4	207,7	3,5	121,1	83,0	-8,3	0,05	5,9	8,6
d05	A	off	ip	5	199,2	5,5	88,5	105,2	-13,8	0,04	6,1	7,7
d05	A	off	ip	6	207,8	8,6	116,3	83,0	-13,8	0,05	6,0	8,3
d05	A	off	ip	7	231,5	8,5	113,4	109,6	-13,8	0,04	5,6	
d05	A	off	ip	8	245,4	17,1	124,3	104,0	-2,0	0,05	6,2	8,6
d05	A	off	ip	9	300,2	7,5	129,0	163,7	-11,1	0,04	5,0	8,3
d05	A	off	ip	10	274,9	11,8	125,0	138,1	-8,6	0,04	5,2	8,3
d05	A	off	ip	11	230,8	9,2	123,8	97,8	-11,0	0,04	5,9	8,6
d05	A	off	ip	12								
d05	A	off	ib	1	135,0	1,3	103,9	29,7	-2,9	0,05	5,8	6,9
d05	A	off	ib	2								
d05	A	off	ib	3								
d05	A	off	ib	4								
d05	A	off	ib	5								
d05	A	off	ib	6								
d05	A	off	ib	7								8,1
d05	A	off	ib	8								
d05	A	off	ib	9								
d05	A	off	ib	10								
d05	A	off	ib	11								
d05	A	off	ib	12								
d05	A	on	ap	1								
d05	A	on	ap	2								
d05	A	on	ap	3	197,2	20,3	143,0	33,9	-2,2	0,02	7,5	9,7
d05	A	on	ap	4	220,5	24,5	169,7	26,3	-4,9	0,02	7,1	8,4
d05	A	on	ap	5	219,9	18,5	170,9	30,5	-3,1	0,01	7,3	9,1
d05	A	on	ap	6	229,6	19,8	172,7	37,0	-1,5	0,02	6,6	8,6
d05	A	on	ap	7	217,5	29,9	147,6	40,0	-3,1	0,01	6,6	8,8
d05	A	on	ap	8	201,4	25,7	140,4	35,3	-3,3	0,00	6,7	8,7
d05	A	on	ap	9	217,5	19,1	150,6	47,8	-4,8	0,01	6,5	9,0
d05	A	on	ap	10	201,1	24,4	142,5	34,2	-2,8	0,01	6,6	8,8
d05	A	on	ap	11	180,4	16,1	140,4	23,9	-3,0	0,01	6,5	8,1
d05	A	on	ap	12								
d05	A	on	ab	1	162,4	21,2	114,1	27,0	-2,6	0,02	3,3	6,4

## Annexes

d05	A	on	ab	2	152,4	19,1	108,8	24,5	2,4	0,03	4,4	6,4
d05	A	on	ab	3	148,2	16,1	103,6	28,5	-5,0	0,02	4,2	6,7
d05	A	on	ab	4	147,0	14,3	104,0	28,7	-4,8	0,02	3,9	6,1
d05	A	on	ab	5	133,4	16,2	95,6	21,5	1,8	0,02	4,3	6,7
d05	A	on	ab	6	149,4	7,8	113,0	28,7	-6,6	0,02	3,7	5,4
d05	A	on	ab	7	136,8	13,2	99,4	24,3	-3,9	0,02	3,3	5,8
d05	A	on	ab	8	132,9	17,0	91,6	24,3	-1,6	0,02	3,9	6,5
d05	A	on	ab	9	135,0	13,2	91,5	30,4	-5,5	0,01	3,7	6,7
d05	A	on	ab	10	138,4	14,1	95,0	29,3	-4,8	0,02	3,7	6,4
d05	A	on	ab	11	133,3	13,8	90,8	28,7	-3,0	0,02	3,9	6,6
d05	A	on	ab	12	133,6	14,1	96,9	22,7	-2,8	0,02	3,4	5,6
d05	A	on	ip	1								
d05	A	on	ip	2								
d05	A	on	ip	3								
d05	A	on	ip	4								
d05	A	on	ip	5								
d05	A	on	ip	6								
d05	A	on	ip	7								
d05	A	on	ip	8								
d05	A	on	ip	9								
d05	A	on	ip	10								
d05	A	on	ip	11								
d05	A	on	ip	12								
d05	A	on	ib	1								
d05	A	on	ib	2								
d05	A	on	ib	3								
d05	A	on	ib	4								
d05	A	on	ib	5								
d05	A	on	ib	6								
d05	A	on	ib	7								
d05	A	on	ib	8								
d05	A	on	ib	9								
d05	A	on	ib	10								
d05	A	on	ib	11								
d05	A	on	ib	12								
d05	B	on	ap	1	272,8	55,3	169,4	48,1	-9,7	0,03	5,4	8,4
d05	B	on	ap	2	295,5	36,4	212,6	46,6	-5,7	0,02	5,3	7,0
d05	B	on	ap	3	272,8	41,6	197,8	33,3	-3,8	0,01	4,5	6,7
d05	B	on	ap	4	240,8	28,6	180,4	31,8	-6,5	0,01	5,2	7,2
d05	B	on	ap	5	238,7	31,8	175,0	31,8	4,2	0,01	3,7	7,6
d05	B	on	ap	6	223,4	26,4	160,6	36,4	-8,9	0,01	5,2	7,1
d05	B	on	ap	7	243,2	24,2	185,0	34,0	-3,2	0,01	5,0	6,8
d05	B	on	ap	8	241,0	26,5	173,5	40,9	-10,4	0,01	5,1	6,8
d05	B	on	ap	9	241,0	31,1	171,6	38,3	-8,9	0,01	5,4	6,9
d05	B	on	ap	10	255,4	42,4	167,5	45,4	-4,2	0,01	4,6	6,9
d05	B	on	ap	11	273,6	36,4	200,8	36,4	-7,7	0,02	3,4	4,2
d05	B	on	ap	12								
d05	B	on	ab	1	197,5	19,0	142,8	35,8	-3,3	0,03	3,2	7,0
d05	B	on	ab	2	214,3	18,8	125,8	69,7	-6,8	0,03	3,0	6,9
d05	B	on	ab	3	191,0	22,7	114,5	53,8	-1,5	0,02	3,2	6,8

Annexes

d05	B	on	ab	4	172,8	12,9	105,3	54,6	-2,3	0,02	3,2	6,8
d05	B	on	ab	5	178,1	15,9	105,3	56,8	-7,6	0,01	3,4	6,8
d05	B	on	ab	6	165,2	13,6	96,2	55,3	-5,3	0,01	2,6	6,4
d05	B	on	ab	7	163,2	13,2	92,5	57,6	-8,4	0,01	2,5	5,9
d05	B	on	ab	8	161,0	16,3	94,7	50,0	-5,3	0,01	2,8	6,5
d05	B	on	ab	9	152,4	21,3	82,6	48,5	-5,4	0,01	3,0	6,6
d05	B	on	ab	10	154,6	17,4	90,9	46,2	-3,7	0,01	3,3	6,6
d05	B	on	ab	11								
d05	B	on	ab	12								
d05	B	on	ip	1								
d05	B	on	ip	2								
d05	B	on	ip	3								
d05	B	on	ip	4								
d05	B	on	ip	5								
d05	B	on	ip	6								
d05	B	on	ip	7								
d05	B	on	ip	8								
d05	B	on	ip	9								
d05	B	on	ip	10								
d05	B	on	ip	11								
d05	B	on	ip	12								
d05	B	on	ib	1								
d05	B	on	ib	2								
d05	B	on	ib	3								
d05	B	on	ib	4								
d05	B	on	ib	5								
d05	B	on	ib	6								
d05	B	on	ib	7								
d05	B	on	ib	8								
d05	B	on	ib	9								
d05	B	on	ib	10								
d05	B	on	ib	11								
d05	B	on	ib	12								
s01	A	off	ap	1	196,4	38,3	103,1	55,0	-3,0	0,02	5,9	8,6
s01	A	off	ap	2	250,2	81,7	69,9	98,6	-6,5	0,07	3,7	7,4
s01	A	off	ap	3	237,0	58,6	71,8	106,6	-4,0	0,06	3,7	7,2
s01	A	off	ap	4	194,6	47,4	79,2	68,0	-5,6	0,05	3,5	5,7
s01	A	off	ap	5	202,1	48,0	78,0	76,1	-2,8	0,05	4,0	7,1
s01	A	off	ap	6	231,4	43,6	87,3	100,4	-3,0	0,05	3,7	6,7
s01	A	off	ap	7	205,4	45,7	66,8	92,9	-9,2	0,07	3,7	6,5
s01	A	off	ap	8	175,9	39,9	74,2	61,8	0,1	0,04	4,1	7,0
s01	A	off	ap	9	179,7	39,9	90,5	49,3	1,1	0,05	3,3	5,5
s01	A	off	ap	10	233,3	44,9	86,7	101,7	0,8	0,05	4,1	7,9
s01	A	off	ap	11	208,3	41,2	80,4	86,7	2,0	0,04	4,0	7,0
s01	A	off	ap	12	174,0	30,6	83,6	59,9	6,8	0,05	3,6	6,4
s01	A	off	ab	1	167,4	36,8	90,8	39,8	3,5	0,05	2,1	3,7
s01	A	off	ab	2	158,8	32,7	54,8	71,4	-5,8	0,09	2,0	3,8
s01	A	off	ab	3	195,2	47,5	64,3	83,4	-7,3	0,05	1,9	3,9
s01	A	off	ab	4	168,1	33,6	65,0	69,4	13,9	0,08	1,7	3,1
s01	A	off	ab	5	188,6	68,7	43,1	76,8	-10,2	0,08	2,6	5,2

## Annexes

s01	A	off	ab	6	221,5	90,6	46,0	84,8	-5,8	0,09	1,9	4,5
s01	A	off	ab	7	178,4	35,8	44,6	97,9	-19,7	0,09	2,7	5,2
s01	A	off	ab	8	187,9	48,3	48,2	91,4	4,4	0,10	2,4	4,5
s01	A	off	ab	9	171,8	51,2	43,9	76,8	1,5	0,14	1,9	3,4
s01	A	off	ab	10	152,0	30,0	39,5	82,6	-4,4	0,10	1,8	3,0
s01	A	off	ab	11	161,5	28,5	38,1	95,0	-30,7	0,08	1,8	3,3
s01	A	off	ab	12								
s01	A	off	ip	1	191,9	38,5	95,9	57,4	0,7	0,05	6,5	9,8
s01	A	off	ip	2	220,6	39,7	114,3	66,6	-0,9	0,04	6,1	9,5
s01	A	off	ip	3	211,4	42,2	99,6	69,6	-5,0	0,03	5,7	9,0
s01	A	off	ip	4	190,6	38,8	82,2	69,6	-7,3	0,04	4,6	7,1
s01	A	off	ip	5	195,2	38,3	84,7	72,1	0,5	0,04	4,9	8,2
s01	A	off	ip	6	213,8	51,9	94,4	67,6	2,1	0,04	4,7	7,6
s01	A	off	ip	7	190,2	43,4	76,7	70,1	-2,7	0,05	4,0	7,0
s01	A	off	ip	8	197,7	46,9	75,7	75,1	-0,4	0,05	4,4	7,5
s01	A	off	ip	9	215,4	47,4	95,3	72,6	0,1	0,06	4,5	7,7
s01	A	off	ip	10	197,2	46,4	80,6	70,1	2,7	0,05	4,6	7,5
s01	A	off	ip	11	215,3	51,4	92,3	71,6	-1,7	0,05	4,2	7,0
s01	A	off	ip	12								
s01	A	off	ib	1	182,0	38,7	78,9	64,3	-5,8	0,06	2,6	4,0
s01	A	off	ib	2	169,6	42,4	73,8	53,4	0,0	0,07	2,8	4,4
s01	A	off	ib	3	187,1	53,3	69,5	64,4	-9,0	0,06	2,4	3,9
s01	A	off	ib	4	179,8	51,2	55,6	73,1	-5,8	0,07	2,8	4,9
s01	A	off	ib	5	170,3	49,7	33,7	87,0	-9,5	0,09	2,0	3,6
s01	A	off	ib	6	182,8	46,0	37,3	99,4	-16,1	0,08	2,5	4,3
s01	A	off	ib	7	179,8	59,2	39,5	81,2	9,5	0,11	2,4	4,3
s01	A	off	ib	8	176,2	44,6	52,0	79,7	-10,8	0,10	2,3	3,8
s01	A	off	ib	9	166,6	49,7	42,2	74,8	-14,4	0,08	2,0	3,5
s01	A	off	ib	10	174,0	37,3	66,7	70,0	-1,8	0,08	1,9	3,1
s01	A	off	ib	11	167,4	50,4	36,6	80,4	-2,2	0,10	1,6	2,5
s01	A	off	ib	12								
s01	A	on	ap	1	322,4	91,0	143,0	88,4	-35,0	0,04	6,8	9,4
s01	A	on	ap	2	316,2	101,6	136,2	78,4	-9,0	0,01	4,6	6,8
s01	A	on	ap	3	371,8	133,1	156,4	82,4	-11,6	0,00	4,0	6,6
s01	A	on	ap	4	271,6	66,0	210,4	-4,8	-4,3	-0,02	5,7	7,7
s01	A	on	ap	5	349,9	63,9	229,0	57,1	-0,7	-0,02	5,3	7,3
s01	A	on	ap	6	319,6	77,5	184,5	57,6	-6,4	0,00	4,8	6,8
s01	A	on	ap	7	275,0	63,4	163,6	48,0	0,8	0,01	4,4	6,3
s01	A	on	ap	8	286,3	62,0	160,1	64,2	-8,5	0,00	5,4	8,1
s01	A	on	ap	9	263,7	59,4	137,5	66,8	-5,6	0,02	5,1	7,4
s01	A	on	ap	10	264,4	82,8	103,4	78,2	-8,5	0,02	6,1	9,4
s01	A	on	ap	11	282,1	76,2	131,5	74,4	-3,7	0,00	5,2	8,5
s01	A	on	ap	12								
s01	A	on	ab	1								
s01	A	on	ab	2	149,8	53,5	35,9	60,4	5,3	0,23	1,7	2,9
s01	A	on	ab	3	121,6	42,0	25,1	54,6	-6,5	0,21	1,9	3,2
s01	A	on	ab	4	137,1	29,3	34,6	73,2	-30,0	0,10	1,5	2,5
s01	A	on	ab	5	114,2	37,3	34,0	43,0	0,6	0,22	1,3	2,2
s01	A	on	ab	6	148,0	45,8	37,8	64,4	-7,0	0,17	2,5	4,4
s01	A	on	ab	7	149,7	35,4	49,3	65,0	-26,7	0,14	2,5	4,6

## Annexes

s01	A	on	ab	8	150,9	47,0	46,4	57,4	-2,3	0,13	1,9	3,1
s01	A	on	ab	9	168,9	45,8	68,5	54,6	0,0	0,15	2,9	5,4
s01	A	on	ab	10	152,6	39,5	58,0	55,2	-8,7	0,13	1,8	2,9
s01	A	on	ab	11								
s01	A	on	ab	12								
s01	A	on	ip	1								
s01	A	on	ip	2	307,0	99,2	97,0	110,8	-23,8	0,05	6,5	11,4
s01	A	on	ip	3	237,4	49,9	90,0	97,5	-29,0	0,03	8,2	12,1
s01	A	on	ip	4	237,4	41,2	107,9	88,2	-26,1	0,02	4,9	6,9
s01	A	on	ip	5	211,2	28,4	89,9	92,8	-16,2	0,05	6,2	9,9
s01	A	on	ip	6	200,8	33,6	106,2	61,0	-8,7	0,03	8,8	13,0
s01	A	on	ip	7	198,5	34,8	73,1	90,5	-8,7	0,06	6,8	11,0
s01	A	on	ip	8	189,2	46,9	69,6	72,7	-13,7	0,07	6,2	11,6
s01	A	on	ip	9	131,8	25,8	51,1	54,8	0,5	0,10	4,0	6,8
s01	A	on	ip	10	159,2	34,3	47,9	77,0	-30,0	0,03	6,6	10,7
s01	A	on	ip	11								
s01	A	on	ip	12								
s01	A	on	ib	1								
s01	A	on	ib	2	162,4	31,1	62,2	69,0	-24,2	0,06	4,4	7,8
s01	A	on	ib	3	128,6	22,1	46,4	60,1	-12,6	0,11	3,6	6,3
s01	A	on	ib	4	171,8	29,5	61,7	80,6	-33,2	0,04	4,3	7,3
s01	A	on	ib	5	165,0	34,2	54,8	75,9	-7,9	0,13	2,5	4,8
s01	A	on	ib	6	165,0	21,6	70,7	72,7	-29,5	0,05	4,7	7,0
s01	A	on	ib	7	137,6	21,1	52,7	63,8	-25,8	0,05	4,9	7,0
s01	A	on	ib	8								
s01	A	on	ib	9								
s01	A	on	ib	10								
s01	A	on	ib	11								
s01	A	on	ib	12								
s02	A	off	ap	1	215,2	35,6	115,5	64,1	19,2	0,12	3,5	5,4
s02	A	off	ap	2	205,2	65,8	52,9	86,6	-3,6	0,12	2,6	4,1
s02	A	off	ap	3	221,9	65,3	82,0	74,6	16,1	0,11	2,7	3,9
s02	A	off	ap	4	189,7	57,1	44,1	88,6	-5,7	0,13	2,7	4,2
s02	A	off	ap	5	179,7	54,4	31,8	93,6	-3,9	0,11	2,5	3,9
s02	A	off	ap	6	185,3	48,5	53,8	83,0	0,0	0,08	3,1	4,4
s02	A	off	ap	7	190,8	48,4	53,8	88,7	-4,2	0,08	3,0	4,7
s02	A	off	ap	8	188,6	50,0	85,5	53,1	16,1	0,08	3,0	4,5
s02	A	off	ap	9	166,4	26,2	43,2	97,1	-20,5	0,08	2,5	3,9
s02	A	off	ap	10	189,7	37,4	40,6	111,7	-30,0	0,06	3,9	6,0
s02	A	off	ap	11	152,9	29,7	42,4	80,8	-2,6	0,09	2,1	3,5
s02	A	off	ap	12	185,8	30,9	39,6	115,2	-27,3	0,04	3,0	4,6
s02	A	off	ab	1	159,9	28,0	76,7	55,2	-18,8	0,06	1,9	2,8
s02	A	off	ab	2	152,8	25,1	29,1	98,6	-53,6	0,06	1,5	2,3
s02	A	off	ab	3	181,9	26,0	117,2	38,7	14,1	0,08	1,4	2,1
s02	A	off	ab	4	165,8	38,3	85,5	42,1	5,3	0,07	1,3	1,9
s02	A	off	ab	5	172,4	43,6	51,5	77,4	-24,4	0,07	2,5	4,1
s02	A	off	ab	6	151,8	6,5	41,4	103,8	-53,0	0,07	1,9	3,0
s02	A	off	ab	7	179,7	33,2	43,3	103,3	-38,1	0,09	1,8	2,9
s02	A	off	ab	8	171,7	28,4	51,8	91,5	-26,5	0,07	1,7	2,9
s02	A	off	ab	9	175,4	34,3	34,3	106,8	-53,9	0,07	2,7	4,5

## Annexes

s02	A	off	ab	10	177,1	34,8	31,0	111,2	-32,8	0,08	1,2	2,0
s02	A	off	ab	11	182,8	19,6	53,7	109,5	-33,7	0,09	1,5	2,4
s02	A	off	ab	12								
s02	A	off	ip	1	244,2	61,2	74,5	108,5	-17,6	0,11	2,6	4,2
s02	A	off	ip	2	222,8	29,0	101,6	92,2	-10,4	0,10	1,9	3,0
s02	A	off	ip	3	242,8	66,9	65,9	110,0	-9,7	0,12	2,7	4,4
s02	A	off	ip	4	238,5	48,2	92,5	97,8	-4,2	0,13	2,9	4,8
s02	A	off	ip	5	231,4	47,4	92,5	91,6	-0,5	0,13	2,3	3,7
s02	A	off	ip	6	215,7	40,5	72,5	102,8	-20,5	0,13	2,4	3,9
s02	A	off	ip	7	231,4	67,9	46,6	116,9	-12,9	0,12	2,4	4,0
s02	A	off	ip	8	222,8	43,2	50,9	128,8	-36,8	0,10	2,9	4,6
s02	A	off	ip	9	247,1	51,3	107,5	88,3	12,5	0,13	2,4	3,9
s02	A	off	ip	10	261,4	52,0	54,5	155,0	-25,0	0,10	2,8	4,9
s02	A	off	ip	11	248,5	62,9	83,8	101,7	3,1	0,11	2,2	3,7
s02	A	off	ip	12								
s02	A	off	ib	1	257,1	65,7	68,8	122,6	-36,2	0,09	1,8	2,9
s02	A	off	ib	2	261,4	60,5	123,3	77,6	-10,3	0,10	1,3	2,1
s02	A	off	ib	3	282,8	55,4	87,4	140,0	-17,0	0,14	1,2	2,2
s02	A	off	ib	4	217,4	21,8	139,8	55,8	20,9	0,12	0,9	1,4
s02	A	off	ib	5	234,2	56,0	58,0	120,2	-26,0	0,12	1,2	1,9
s02	A	off	ib	6	251,4	48,3	81,8	121,4	-25,0	0,13	1,3	2,2
s02	A	off	ib	7	252,8	52,7	79,6	120,5	-17,4	0,13	1,3	2,2
s02	A	off	ib	8	281,4	74,6	43,8	163,0	-44,4	0,12	1,2	1,9
s02	A	off	ib	9	234,2	61,4	63,1	109,8	-24,3	0,12	1,4	2,4
s02	A	off	ib	10	228,6	53,6	67,4	107,6	-19,2	0,13	1,1	1,7
s02	A	off	ib	11	218,5	58,4	41,6	118,5	-47,8	0,12	1,4	2,2
s02	A	off	ib	12								
s02	A	on	ap	1	246,6	73,8	98,2	74,5	11,4	0,08	4,9	7,6
s02	A	on	ap	2	225,2	63,2	92,6	69,4	7,9	0,08	4,5	7,2
s02	A	on	ap	3	222,5	60,4	77,2	84,8	1,8	0,08	4,1	6,3
s02	A	on	ap	4	254,3	52,0	120,9	81,5	0,0	0,07	3,5	5,4
s02	A	on	ap	5	237,9	50,8	107,4	79,7	1,0	0,07	3,8	5,6
s02	A	on	ap	6	219,7	59,2	59,9	100,7	0,0	0,07	3,0	5,1
s02	A	on	ap	7	228,6	36,1	124,2	68,3	23,7	0,06	3,3	4,9
s02	A	on	ap	8	194,3	55,8	71,6	66,9	5,3	0,08	3,4	5,5
s02	A	on	ap	9	202,1	40,8	110,2	51,1	9,6	0,07	3,3	5,2
s02	A	on	ap	10	186,9	35,8	74,9	76,1	0,8	0,09	2,7	4,8
s02	A	on	ap	11	194,6	36,6	110,8	47,2	24,9	0,06	3,3	5,3
s02	A	on	ap	12	188,9	39,7	105,2	44,0	29,6	0,04	3,3	5,1
s02	A	on	ab	1	181,0	31,0	76,2	73,8	0,0	0,06	1,8	3,2
s02	A	on	ab	2	180,2	31,0	86,7	62,4	-1,6	0,06	1,7	3,0
s02	A	on	ab	3	194,9	35,1	75,5	84,3	-5,0	0,05	2,0	4,0
s02	A	on	ab	4	179,8	57,8	49,8	72,2	-7,8	0,05	1,8	3,3
s02	A	on	ab	5	183,3	31,6	94,0	57,6	7,3	0,07	2,3	4,1
s02	A	on	ab	6	152,8	26,3	67,7	58,8	-5,0	0,06	1,3	2,2
s02	A	on	ab	7	186,2	35,2	91,8	59,3	-0,6	0,07	1,7	3,2
s02	A	on	ab	8	183,2	30,4	85,6	67,2	-3,9	0,06	1,8	3,4
s02	A	on	ab	9	196,6	36,0	90,1	70,5	-2,2	0,06	1,4	2,7
s02	A	on	ab	10	175,2	41,4	72,2	61,6	-4,5	0,07	1,3	2,3
s02	A	on	ab	11	186,2	31,6	87,9	66,8	9,6	0,08	2,0	3,4

## Annexes

s02	A	on	ab	12	193,0	37,5	90,0	65,5	9,5	0,07	2,1	3,5
s02	A	on	ip	1	220,9	21,6	119,4	79,9	7,3	0,07	3,2	5,1
s02	A	on	ip	2	224,6	33,9	132,9	57,9	39,7	0,07	3,3	5,2
s02	A	on	ip	3	233,6	41,8	125,4	66,4	25,4	0,06	3,8	5,8
s02	A	on	ip	4	216,3	33,5	131,0	51,8	38,4	0,05	3,5	5,4
s02	A	on	ip	5	204,1	34,6	120,9	48,7	52,6	0,04	3,7	5,6
s02	A	on	ip	6	263,7	45,8	163,3	54,6	62,7	0,05	3,3	5,1
s02	A	on	ip	7	243,0	53,4	121,8	67,8	26,1	0,05	2,9	4,7
s02	A	on	ip	8	271,0	41,2	159,5	70,2	10,5	0,05	2,9	4,5
s02	A	on	ip	9	263,6	69,7	117,1	76,8	12,6	0,05	2,7	4,7
s02	A	on	ip	10	288,0	38,0	184,5	65,5	28,4	0,05	2,6	4,5
s02	A	on	ip	11	223,6	95,3	107,9	20,3	38,2	0,01	3,5	5,2
s02	A	on	ip	12	194,4	33,2	119,9	41,4	46,1	0,04	2,7	4,0
s02	A	on	ib	1	200,7	53,5	67,4	79,9	13,8	0,09	1,8	3,1
s02	A	on	ib	2	192,0	27,8	106,1	58,1	1,5	0,06	1,3	2,0
s02	A	on	ib	3	223,5	39,5	102,4	81,6	-8,0	0,09	1,4	2,2
s02	A	on	ib	4	235,7	41,4	111,6	82,7	0,0	0,07	1,3	2,0
s02	A	on	ib	5	211,4	56,4	66,4	88,6	-8,3	0,08	1,3	2,1
s02	A	on	ib	6	232,1	35,9	99,6	96,6	-8,4	0,07	1,4	2,3
s02	A	on	ib	7	238,1	50,5	76,5	111,1	-4,7	0,07	0,9	1,6
s02	A	on	ib	8	232,0	60,0	70,1	101,9	-9,2	0,07	1,2	2,0
s02	A	on	ib	9	216,2	50,8	69,2	96,2	28,6	0,08	1,2	2,0
s02	A	on	ib	10	224,8	71,7	66,4	86,7	-3,7	0,07	1,3	2,0
s02	A	on	ib	11	240,6	44,4	93,2	103,0	-8,9	0,07	1,1	1,9
s02	A	on	ib	12	241,8	62,0	54,4	125,3	12,9	0,08	1,0	1,9
s03	A	off	ap	1	237,2	49,9	133,0	54,3	30,4	-0,01	6,6	9,6
s03	A	off	ap	2	217,9	27,9	148,1	41,9	-1,4	-0,01	7,0	10,0
s03	A	off	ap	3	196,8	40,4	107,2	49,2	0,0	-0,02	5,8	8,7
s03	A	off	ap	4	180,2	58,8	67,4	54,0	2,3	-0,02	5,5	8,4
s03	A	off	ap	5	202,6	37,0	124,2	41,4	12,8	-0,02	6,3	9,6
s03	A	off	ap	6	198,9	121,9	33,1	43,8	7,4	-0,08	5,7	8,4
s03	A	off	ap	7	190,6	72,6	79,4	38,6	9,7	-0,05	6,1	9,0
s03	A	off	ap	8	200,2	34,4	123,2	42,6	20,1	-0,03	5,7	8,4
s03	A	off	ap	9	183,6	58,0	87,2	38,5	6,7	-0,05	6,5	9,0
s03	A	off	ap	10	188,9	47,8	96,9	44,2	3,5	-0,03	6,6	9,4
s03	A	off	ap	11	148,0	64,8	36,5	46,8	2,4	-0,06	5,9	9,2
s03	A	off	ap	12								
s03	A	off	ab	1	134,4	54,1	48,7	31,7	6,7	-0,07	3,3	4,9
s03	A	off	ab	2	149,0	71,4	37,0	40,6	4,4	-0,06	3,6	5,5
s03	A	off	ab	3	118,5	61,1	32,6	24,8	0,4	-0,06	2,4	3,5
s03	A	off	ab	4	121,8	37,7	39,0	45,0	8,8	0,02	2,9	5,2
s03	A	off	ab	5	125,8	64,2	24,4	37,2	3,4	-0,06	2,4	4,0
s03	A	off	ab	6	146,3	56,5	34,1	55,7	-0,9	-0,04	2,5	4,1
s03	A	off	ab	7	120,9	30,0	47,2	43,7	9,2	0,03	2,5	4,2
s03	A	off	ab	8	112,7	27,3	46,3	39,1	14,1	0,00	2,1	3,4
s03	A	off	ab	9	105,7	21,7	49,2	34,8	-1,4	0,00	2,1	3,2
s03	A	off	ab	10	112,9	32,8	45,4	34,7	0,0	0,00	2,0	3,0
s03	A	off	ab	11	114,6	57,4	19,9	37,2	6,8	-0,02	2,8	4,6
s03	A	off	ab	12	106,6	22,7	47,7	36,1	16,1	0,02	2,6	4,4
s03	A	off	ip	1	281,0	106,2	121,2	53,6	0,4	-0,01	6,0	9,5

## Annexes

s03	A	off	ip	2	249,5	77,6	114,0	58,0	-0,3	-0,01	5,6	8,5
s03	A	off	ip	3	213,1	69,4	83,6	60,1	-5,0	0,00	5,1	7,6
s03	A	off	ip	4	226,4	95,4	81,4	49,7	-2,6	-0,01	4,8	7,5
s03	A	off	ip	5	213,4	58,5	101,3	53,6	-5,5	0,00	4,5	7,2
s03	A	off	ip	6	203,6	69,2	92,0	42,4	-0,6	-0,01	5,5	8,1
s03	A	off	ip	7	213,5	83,0	72,5	58,0	-1,4	0,00	5,1	8,3
s03	A	off	ip	8	228,2	71,1	75,7	81,3	-0,1	0,00	4,2	7,5
s03	A	off	ip	9	206,3	85,3	69,9	51,1	-3,8	0,01	4,8	7,2
s03	A	off	ip	10	194,8	56,3	81,1	57,4	-4,7	0,00	4,9	7,4
s03	A	off	ip	11	206,0	57,2	93,1	55,7	-2,5	0,00	4,6	6,9
s03	A	off	ip	12	207,5	72,7	71,6	63,2	-2,0	0,00	4,5	7,2
s03	A	off	ib	1	176,8	34,0	59,5	83,4	2,8	0,00	3,3	6,1
s03	A	off	ib	2	139,1	48,8	43,2	47,0	-0,9	0,04	3,0	5,1
s03	A	off	ib	3	132,7	32,7	55,7	44,2	4,1	0,01	2,7	4,7
s03	A	off	ib	4	153,0	70,0	42,9	40,1	6,0	0,05	2,1	3,8
s03	A	off	ib	5	130,4	46,1	36,4	47,9	3,2	0,06	2,6	4,5
s03	A	off	ib	6								
s03	A	off	ib	7	120,2	36,0	26,7	57,6	2,3	0,06	2,4	3,9
s03	A	off	ib	8								
s03	A	off	ib	9	147,4	39,6	38,3	69,6	-4,2	0,02	2,3	4,2
s03	A	off	ib	10	150,4	49,3	44,2	56,9	3,2	0,03	3,2	5,5
s03	A	off	ib	11	115,2	37,3	16,1	61,7	-1,8	0,07	2,5	4,2
s03	A	off	ib	12	105,9	25,3	27,2	53,4	-5,1	0,08	2,3	3,5
s03	A	on	ap	1	233,2	80,2	110,7	42,4	38,4	0,02	5,5	8,0
s03	A	on	ap	2	196,5	72,0	55,7	68,8	0,7	0,09	3,7	5,7
s03	A	on	ap	3	196,0	43,6	95,7	56,7	8,8	0,06	3,9	6,4
s03	A	on	ap	4	200,8	83,6	50,7	66,6	-7,3	0,06	4,4	6,8
s03	A	on	ap	5	184,1	50,9	65,3	67,9	5,7	0,14	4,0	6,3
s03	A	on	ap	6	182,1	70,5	45,6	66,0	1,2	0,09	3,8	6,0
s03	A	on	ap	7	192,0	71,4	73,5	47,1	0,1	0,03	4,8	7,3
s03	A	on	ap	8	148,7	40,3	60,8	47,6	-0,2	0,06	4,5	6,8
s03	A	on	ap	9	172,3	78,5	36,8	57,0	-7,8	0,06	5,6	8,9
s03	A	on	ap	10	177,0	43,3	82,4	51,3	19,0	0,07	4,4	7,1
s03	A	on	ap	11	189,4	41,5	100,8	47,1	7,2	0,04	5,4	8,1
s03	A	on	ap	12	178,6	40,2	88,8	49,7	4,6	0,06	5,1	7,8
s03	A	on	ab	1	163,8	35,1	78,2	50,6	5,1	0,04	2,9	5,1
s03	A	on	ab	2	141,8	31,9	65,3	44,6	2,0	0,04	2,3	4,1
s03	A	on	ab	3	133,0	32,3	50,1	50,6	4,6	0,06	1,9	3,4
s03	A	on	ab	4	126,2	10,7	70,9	44,7	4,0	0,09	1,6	2,9
s03	A	on	ab	5	124,5	9,6	73,4	41,5	18,2	0,05	2,4	3,9
s03	A	on	ab	6	136,4	20,5	70,8	45,1	5,6	0,04	1,8	3,1
s03	A	on	ab	7	131,6	32,3	63,8	35,5	14,2	0,04	2,0	3,0
s03	A	on	ab	8	167,0	12,2	79,9	74,9	25,8	0,14	1,3	2,3
s03	A	on	ab	9	145,0	35,2	53,6	56,2	6,6	0,07	2,1	3,6
s03	A	on	ab	10	130,3	34,4	48,6	47,3	15,2	0,10	1,9	3,4
s03	A	on	ab	11	141,3	32,4	59,7	49,2	11,1	0,09	2,2	4,0
s03	A	on	ab	12	111,5	10,9	61,3	39,4	4,6	0,08	1,9	3,2
s03	A	on	ip	1	233,8	86,0	92,6	55,2	22,9	0,04	5,4	8,7
s03	A	on	ip	2	191,1	47,9	104,4	38,7	23,4	0,03	4,1	6,2
s03	A	on	ip	3	228,4	68,1	118,8	41,4	16,9	0,04	4,5	6,7

## Annexes

s03	A	on	ip	4	210,2	59,8	99,1	51,2	24,5	0,05	3,7	5,5
s03	A	on	ip	5	212,2	69,1	84,8	58,4	4,1	0,05	4,3	6,6
s03	A	on	ip	6	233,8	85,4	90,0	58,4	23,6	0,05	4,5	7,0
s03	A	on	ip	7	255,0	64,4	132,7	57,9	7,2	0,03	4,8	7,0
s03	A	on	ip	8	237,7	49,2	124,8	63,8	2,6	0,04	5,5	8,3
s03	A	on	ip	9	238,4	57,8	119,6	61,1	7,5	0,04	5,4	8,0
s03	A	on	ip	10	207,3	59,6	99,8	47,9	4,4	0,04	5,4	7,6
s03	A	on	ip	11								
s03	A	on	ip	12								
s03	A	on	ib	1	202,9	53,2	69,6	80,1	4,6	0,04	3,0	6,1
s03	A	on	ib	2	197,0	43,4	92,6	61,1	9,7	0,06	3,3	5,3
s03	A	on	ib	3	180,0	45,3	89,3	45,3	12,2	0,05	2,9	4,8
s03	A	on	ib	4	189,8	58,5	75,5	55,8	-1,3	0,06	2,8	4,8
s03	A	on	ib	5	181,9	36,8	89,8	55,3	0,0	0,04	3,2	5,5
s03	A	on	ib	6	202,8	35,5	78,8	88,6	3,3	0,05	2,3	4,6
s03	A	on	ib	7	157,6	48,6	59,1	49,9	5,0	0,06	3,1	5,0
s03	A	on	ib	8	156,3	31,5	75,5	49,2	0,5	0,06	2,5	3,9
s03	A	on	ib	9	156,3	39,4	73,5	43,4	6,7	0,05	3,1	4,8
s03	A	on	ib	10	151,1	30,2	63,7	57,2	-1,1	0,06	2,9	4,8
s03	A	on	ib	11	164,2	57,8	43,3	63,0	4,6	0,07	2,4	4,2
s03	A	on	ib	12								
s04	A	off	ap	1	251,6	29,8	180,2	41,6	0,2	0,04	8,9	13,1
s04	A	off	ap	2	252,4	20,5	195,2	36,7	9,7	0,03	9,1	12,2
s04	A	off	ap	3	267,2	20,7	207,0	39,5	3,7	0,03	8,3	11,6
s04	A	off	ap	4	248,4	18,5	196,4	33,5	8,1	0,02	7,5	10,7
s04	A	off	ap	5	261,1	21,8	198,3	41,0	5,5	0,01	8,1	11,4
s04	A	off	ap	6	257,9	14,3	207,0	36,6	7,5	0,01	7,1	9,6
s04	A	off	ap	7	220,0	11,2	178,4	30,5	3,4	0,01	6,1	8,7
s04	A	off	ap	8	239,5	24,4	179,6	35,4	6,9	0,02	7,1	9,4
s04	A	off	ap	9	226,6	25,0	171,5	30,1	8,7	0,01	6,7	7,4
s04	A	off	ap	10	220,0	16,7	178,4	24,8	14,8	0,02	6,7	8,7
s04	A	off	ap	11								
s04	A	off	ap	12								
s04	A	off	ab	1	178,4	8,1	136,7	33,6	3,7	0,01	4,0	8,2
s04	A	off	ab	2	178,4	26,1	121,8	30,5	5,0	0,02	4,5	7,6
s04	A	off	ab	3	178,4	21,2	125,6	31,7	5,6	0,02	4,2	8,5
s04	A	off	ab	4	168,4	27,4	110,0	31,1	1,2	0,02	4,3	7,5
s04	A	off	ab	5	159,1	11,2	117,5	30,4	2,7	0,03	3,7	6,4
s04	A	off	ab	6	157,8	14,7	114,3	28,8	2,5	0,01	3,7	7,3
s04	A	off	ab	7	167,2	15,8	119,4	32,0	2,3	0,03	4,2	7,0
s04	A	off	ab	8	157,6	12,4	113,1	32,0	-0,8	0,02	4,4	7,8
s04	A	off	ab	9	145,3	18,7	95,8	30,9	2,5	0,03	3,9	6,4
s04	A	off	ab	10	127,2	15,3	87,6	24,2	13,0	0,03	3,8	5,9
s04	A	off	ab	11								
s04	A	off	ab	12								
s04	A	off	ip	1								
s04	A	off	ip	2								
s04	A	off	ip	3								
s04	A	off	ip	4								
s04	A	off	ip	5								

Annexes

s04	A	off	ip	6	170,8	22,4	95,1	53,3	-6,7	0,04	4,4	6,6
s04	A	off	ip	7	191,4	11,2	125,0	55,2	1,2	0,07	4,5	6,3
s04	A	off	ip	8	200,3	33,7	106,3	60,3	-7,3	0,06	3,8	5,9
s04	A	off	ip	9	175,9	12,4	115,6	47,9	-4,4	0,06	4,3	6,2
s04	A	off	ip	10	180,7	11,4	119,9	49,4	0,0	0,08	4,0	5,7
s04	A	off	ip	11								
s04	A	off	ip	12								
s04	A	off	ib	1								
s04	A	off	ib	2								
s04	A	off	ib	3								
s04	A	off	ib	4								
s04	A	off	ib	5								
s04	A	off	ib	6								
s04	A	off	ib	7								
s04	A	off	ib	8								
s04	A	off	ib	9								
s04	A	off	ib	10								
s04	A	off	ib	11								
s04	A	off	ib	12								
s04	A	on	ap	1	242,4	50,1	155,0	37,3	-8,4	-0,05	10,5	13,9
s04	A	on	ap	2	260,5	12,9	214,2	33,4	-7,4	-0,05	10,5	13,7
s04	A	on	ap	3	254,3	16,1	201,9	36,3	-3,8	-0,04	11,4	14,5
s04	A	on	ap	4	251,4	14,8	192,9	43,7	-4,4	-0,04	10,1	12,9
s04	A	on	ap	5	248,9	19,3	200,0	29,6	-2,8	-0,05	10,4	12,6
s04	A	on	ap	6	261,1	21,2	205,8	34,1	-6,0	-0,04	10,0	12,5
s04	A	on	ap	7	241,7	29,6	182,0	30,2	-2,0	-0,05	9,6	12,3
s04	A	on	ap	8	248,4	18,6	198,1	31,6	1,2	-0,06	9,4	12,5
s04	A	on	ap	9	233,1	20,6	178,8	33,7	-3,3	-0,05	9,3	11,4
s04	A	on	ap	10	251,6	33,0	183,9	34,6	1,9	-0,06	8,4	11,6
s04	A	on	ap	11	234,4	33,4	164,7	36,4	-11,0	-0,06	9,3	11,9
s04	A	on	ap	12								
s04	A	on	ab	1	212,9	18,6	161,4	32,8	3,6	-0,07	8,5	12,5
s04	A	on	ab	2	180,7	13,5	143,5	23,8	13,5	-0,06	6,1	8,9
s04	A	on	ab	3	198,7	19,9	144,7	34,1	-5,8	-0,06	6,1	8,7
s04	A	on	ab	4	159,7	12,4	116,4	31,0	2,6	-0,06	5,5	8,8
s04	A	on	ab	5	207,0	19,3	151,1	36,6	1,3	-0,06	7,3	11,9
s04	A	on	ab	6	168,5	10,9	124,1	33,4	-3,2	-0,06	5,7	8,8
s04	A	on	ab	7	189,3	13,2	134,4	41,6	11,0	-0,06	6,4	11,1
s04	A	on	ab	8	176,8	15,4	122,8	38,6	-0,6	-0,06	6,1	9,4
s04	A	on	ab	9	208,3	20,9	131,2	56,2	-12,2	-0,05	7,1	11,7
s04	A	on	ab	10	194,5	7,4	147,9	39,2	7,7	-0,05	6,4	11,0
s04	A	on	ab	11	182,6	14,8	126,0	41,8	-5,8	-0,06	5,9	8,6
s04	A	on	ab	12	187,8	15,4	142,1	30,2	11,6	-0,06	5,8	8,6
s04	A	on	ip	1	245,8	15,5	180,6	49,6	-10,3	-0,05	12,1	17,3
s04	A	on	ip	2	291,6	20,9	187,8	83,0	-4,8	-0,06	10,0	15,6
s04	A	on	ip	3	274,9	14,4	182,6	77,8	-4,4	-0,06	9,2	14,1
s04	A	on	ip	4	245,3	15,7	177,5	52,1	-3,8	-0,06	9,8	14,1
s04	A	on	ip	5	281,7	27,1	190,4	64,3	-3,4	-0,06	9,8	14,6
s04	A	on	ip	6	241,9	25,8	178,8	37,3	-3,9	-0,06	11,2	15,3
s04	A	on	ip	7	206,8	67,3	93,9	45,7	-5,2	-0,06	9,1	12,3

Annexes

s04	A	on	ip	8	253,8	28,4	173,6	51,8	-16,4	-0,06	10,6	14,6
s04	A	on	ip	9	254,0	22,2	183,2	48,6	-8,8	-0,06	9,7	13,3
s04	A	on	ip	10	305,2	8,7	187,1	109,4	-5,4	-0,07	7,2	11,6
s04	A	on	ip	11	201,6	17,7	142,1	41,8	-3,9	-0,06	8,4	11,3
s04	A	on	ip	12	290,9	21,5	178,8	90,7	-4,5	-0,06	7,6	11,6
s04	A	on	ib	1	244,8	46,0	138,3	60,5	-5,2	-0,06	8,4	14,5
s04	A	on	ib	2	208,0	31,2	124,1	52,7	-9,0	-0,06	7,8	13,6
s04	A	on	ib	3	209,2	41,2	95,1	72,9	-19,9	-0,06	5,2	8,9
s04	A	on	ib	4	196,8	25,7	115,8	55,3	-6,6	-0,06	7,9	13,1
s04	A	on	ib	5	194,9	33,4	101,0	60,5	-8,4	-0,06	6,4	11,2
s04	A	on	ib	6	184,3	32,2	110,0	42,2	-2,6	-0,06	7,0	11,5
s04	A	on	ib	7	183,4	12,4	122,2	48,9	-13,8	-0,05	6,0	10,6
s04	A	on	ib	8	164,2	18,7	94,6	50,9	-7,1	-0,06	6,7	11,7
s04	A	on	ib	9	171,2	14,3	93,9	63,0	-7,7	-0,06	6,7	11,6
s04	A	on	ib	10	177,4	28,2	103,5	45,6	-4,5	-0,06	6,3	10,7
s04	A	on	ib	11	154,2	-5,6	111,2	48,6	-9,9	-0,06	5,2	9,5
s04	A	on	ib	12	162,5	29,6	80,4	52,5	-9,6	-0,06	5,3	9,9
s04	B	off	ap	1								
s04	B	off	ap	2								
s04	B	off	ap	3								
s04	B	off	ap	4								
s04	B	off	ap	5								
s04	B	off	ap	6								
s04	B	off	ap	7								
s04	B	off	ap	8								
s04	B	off	ap	9								
s04	B	off	ap	10								
s04	B	off	ap	11								
s04	B	off	ap	12								
s04	B	off	ab	1								
s04	B	off	ab	2								
s04	B	off	ab	3								
s04	B	off	ab	4								
s04	B	off	ab	5								
s04	B	off	ab	6								
s04	B	off	ab	7								
s04	B	off	ab	8								
s04	B	off	ab	9								
s04	B	off	ab	10								
s04	B	off	ab	11								
s04	B	off	ab	12								
s04	B	off	ip	1	261,9	53,9	126,7	81,2	12,9	0,03	5,6	11,5
s04	B	off	ip	2	183,0	53,9	82,0	47,1	-7,9	0,06	8,0	11,0
s04	B	off	ip	3								
s04	B	off	ip	4	191,3	2,3	121,5	67,6	-10,8	0,07	4,7	8,0
s04	B	off	ip	5	167,0	69,8	51,6	45,6	-1,5	0,07	7,0	9,2
s04	B	off	ip	6	186,0	16,7	112,4	56,9	-14,2	0,09	5,5	8,4
s04	B	off	ip	7	176,9	61,5	47,1	68,3	0,2	0,10	3,9	6,2
s04	B	off	ip	8	209,5	34,2	133,6	41,8	-4,1	0,02	6,2	8,9
s04	B	off	ip	9	186,0	9,1	122,2	54,6	-15,7	0,04	5,6	8,0

Annexes

s04	B	off	ip	10	199,6	56,2	94,9	48,6	-12,1	0,05	4,4	7,0
s04	B	off	ip	11	179,2	44,8	86,6	47,8	-1,7	0,08	4,4	6,6
s04	B	off	ip	12	166,2	41,8	74,4	50,1	0,8	0,06	4,1	5,8
s04	B	off	ib	1	179,2	6,1	122,2	50,9	9,1	0,03	2,2	4,3
s04	B	off	ib	2	176,8	12,9	83,5	80,4	-14,4	0,03	2,6	4,8
s04	B	off	ib	3	180,6	26,6	119,2	34,9	12,2	0,05	2,5	4,2
s04	B	off	ib	4	160,9	24,3	50,9	85,8	-17,4	0,08	2,6	4,9
s04	B	off	ib	5	159,4	33,4	35,6	90,4	-39,5	0,06	2,5	4,4
s04	B	off	ib	6	167,8	38,7	46,2	82,8	-12,2	0,05	3,5	5,9
s04	B	off	ib	7	188,2	38,0	62,2	88,0	-25,8	0,10	2,8	5,1
s04	B	off	ib	8	158,6	28,1	54,6	75,9	-11,4	0,11	3,0	5,2
s04	B	off	ib	9	167,0	14,4	99,4	53,2	-6,8	0,09	2,1	3,8
s04	B	off	ib	10	167,8	-0,8	121,4	47,1	0,8	0,05	3,6	6,6
s04	B	off	ib	11								
s04	B	off	ib	12								
s05	A	off	ap	1	141,2	25,1	81,5	34,6	25,8	0,01	6,8	10,4
s05	A	off	ap	2	148,7	22,4	84,8	41,4	-0,2	0,03	5,6	8,5
s05	A	off	ap	3	152,8	38,0	77,4	37,4	4,6	0,02	5,2	7,5
s05	A	off	ap	4	163,0	31,2	95,0	36,7	12,3	0,02	5,8	8,5
s05	A	off	ap	5	147,3	24,4	81,5	41,4	4,0	0,04	5,3	7,8
s05	A	off	ap	6	140,6	26,5	63,2	50,9	6,8	0,05	5,2	8,4
s05	A	off	ap	7	158,9	34,0	75,4	49,6	1,2	0,05	5,2	8,1
s05	A	off	ap	8	150,8	25,2	79,4	46,2	4,8	0,05	4,7	7,2
s05	A	off	ap	9	156,2	35,3	65,8	55,0	-1,4	0,05	5,2	8,1
s05	A	off	ap	10	155,1	27,9	73,4	53,8	-4,4	0,05	5,6	8,9
s05	A	off	ap	11								
s05	A	off	ap	12								
s05	A	off	ab	1	119,2	15,4	74,5	29,3	11,2	0,04	2,0	3,1
s05	A	off	ab	2	114,9	13,8	66,4	34,6	4,8	0,04	1,5	2,2
s05	A	off	ab	3	99,0	12,8	60,1	26,1	14,4	0,04	1,2	1,7
s05	A	off	ab	4	84,6	12,8	31,7	40,1	-11,7	0,07	0,9	1,2
s05	A	off	ab	5	76,1	16,0	26,6	33,5	-0,5	0,08	1,0	1,3
s05	A	off	ab	6	119,7	56,9	31,9	30,9	1,2	0,03	1,1	1,5
s05	A	off	ab	7	124,5	58,6	24,9	41,0	-11,7	0,03	0,9	1,3
s05	A	off	ab	8	113,4	30,3	56,9	26,1	3,6	0,00	1,1	1,5
s05	A	off	ab	9	113,3	31,4	41,0	41,0	13,8	0,05	0,9	1,2
s05	A	off	ab	10								
s05	A	off	ab	11								
s05	A	off	ab	12								
s05	A	off	ip	1	135,8	15,4	72,0	48,5	12,9	0,07	3,1	4,6
s05	A	off	ip	2	160,8	28,3	88,9	43,6	3,2	0,04	3,6	6,0
s05	A	off	ip	3	147,4	61,8	28,5	57,0	-8,6	0,12	3,1	4,7
s05	A	off	ip	4	166,2	51,0	42,4	72,8	-22,5	0,06	3,5	5,1
s05	A	off	ip	5	135,2	18,8	61,9	54,6	-6,1	0,13	2,6	3,8
s05	A	off	ip	6	143,1	-7,9	112,2	38,8	49,7	0,02	2,1	3,1
s05	A	off	ip	7	191,0	53,4	65,5	72,2	-4,2	0,06	2,7	4,4
s05	A	off	ip	8								
s05	A	off	ip	9	182,6	44,9	48,6	89,2	-8,5	0,08	3,3	5,2
s05	A	off	ip	10								
s05	A	off	ip	11								

## Annexes

s05	A	off	ip	12								
s05	A	off	ib	1	120,7	20,5	75,9	24,2	41,1	0,06	1,2	1,8
s05	A	off	ib	2	120,7	25,5	57,2	37,9	19,9	0,06	1,1	1,6
s05	A	off	ib	3	109,5	44,2	24,9	40,4	-2,5	0,05	0,9	1,2
s05	A	off	ib	4								
s05	A	off	ib	5								
s05	A	off	ib	6								
s05	A	off	ib	7								
s05	A	off	ib	8	175,9	52,2	45,5	78,2	-3,6	0,10	3,2	5,2
s05	A	off	ib	9								
s05	A	off	ib	10								
s05	A	off	ib	11								
s05	A	off	ib	12								
s05	A	on	ap	1	164,5	79,3	19,6	65,6	19,6	0,14	9,3	14,7
s05	A	on	ap	2	145,9	62,7	22,5	60,7	12,8	0,12	8,2	12,7
s05	A	on	ap	3	110,6	16,6	24,4	69,5	-11,8	0,26	4,9	8,3
s05	A	on	ap	4	120,4	35,2	15,6	69,5	-3,9	0,19	6,0	10,2
s05	A	on	ap	5	123,4	32,3	36,2	54,8	1,0	0,13	8,0	12,7
s05	A	on	ap	6	134,2	39,3	31,3	63,6	1,0	0,15	7,6	13,2
s05	A	on	ap	7	121,4	36,2	34,3	50,9	4,9	0,10	6,6	10,7
s05	A	on	ap	8	142,9	27,9	61,7	53,3	4,5	0,12	8,4	13,4
s05	A	on	ap	9	140,3	40,3	31,2	68,8	-0,7	0,15	6,4	10,4
s05	A	on	ap	10	128,6	29,9	76,0	22,7	52,6	0,24	4,1	6,3
s05	A	on	ap	11	153,2	34,4	76,0	42,8	0,7	0,07	8,6	11,9
s05	A	on	ap	12	117,6	29,9	19,5	68,2	-11,0	0,19	6,2	10,6
s05	A	on	ab	1	113,6	39,0	38,4	36,4	16,2	0,07	4,4	7,1
s05	A	on	ab	2	122,1	18,2	59,1	44,8	0,6	0,04	4,4	7,4
s05	A	on	ab	3	118,8	28,6	45,4	44,8	1,3	0,04	4,3	6,2
s05	A	on	ab	4	75,3	23,4	18,2	33,8	11,0	0,18	1,4	2,1
s05	A	on	ab	5	113,7	24,0	47,4	42,2	0,6	0,05	3,4	5,5
s05	A	on	ab	6	97,4	33,8	26,0	37,6	2,0	0,09	2,9	4,7
s05	A	on	ab	7	129,2	24,0	59,1	46,1	11,7	0,09	4,2	6,8
s05	A	on	ab	8	45,5						0,9	1,1
s05	A	on	ab	9	100,6	23,4	38,4	39,0	12,3	0,13	3,2	5,1
s05	A	on	ab	10	115,0	27,3	51,3	36,4	11,7	0,09	3,9	6,1
s05	A	on	ab	11	113,6	26,6	46,1	40,9	16,2	0,08	4,4	6,9
s05	A	on	ab	12								
s05	A	on	ip	1	171,4	28,6	98,7	44,2	4,5	0,05	11,1	16,4
s05	A	on	ip	2	159,8	24,0	92,2	43,5	-2,4	0,05	9,0	13,5
s05	A	on	ip	3	167,6	18,2	112,4	37,0	5,8	0,04	7,2	11,0
s05	A	on	ip	4	240,3	19,5	113,7	107,2	-59,0	0,04	9,3	12,0
s05	A	on	ip	5								
s05	A	on	ip	6	120,8	24,7	31,2	65,0	3,9	0,10	9,1	14,2
s05	A	on	ip	7								
s05	A	on	ip	8								
s05	A	on	ip	9								
s05	A	on	ip	10								
s05	A	on	ip	11								
s05	A	on	ip	12								
s05	A	on	ib	1								

Annexes

s05	A	on	ib	2								
s05	A	on	ib	3								
s05	A	on	ib	4								
s05	A	on	ib	5								
s05	A	on	ib	6								
s05	A	on	ib	7								
s05	A	on	ib	8								
s05	A	on	ib	9								
s05	A	on	ib	10								
s05	A	on	ib	11								
s05	A	on	ib	12								
s05	B	off	ap	1								
s05	B	off	ap	2								
s05	B	off	ap	3								
s05	B	off	ap	4								
s05	B	off	ap	5								
s05	B	off	ap	6								
s05	B	off	ap	7								
s05	B	off	ap	8								
s05	B	off	ap	9								
s05	B	off	ap	10								
s05	B	off	ap	11								
s05	B	off	ap	12								
s05	B	off	ab	1								
s05	B	off	ab	2								
s05	B	off	ab	3								
s05	B	off	ab	4								
s05	B	off	ab	5								
s05	B	off	ab	6								
s05	B	off	ab	7								
s05	B	off	ab	8								
s05	B	off	ab	9								
s05	B	off	ab	10								
s05	B	off	ab	11								
s05	B	off	ab	12								
s05	B	off	ip	1								
s05	B	off	ip	2								
s05	B	off	ip	3								
s05	B	off	ip	4								
s05	B	off	ip	5								
s05	B	off	ip	6								
s05	B	off	ip	7								
s05	B	off	ip	8								
s05	B	off	ip	9								
s05	B	off	ip	10								
s05	B	off	ip	11								
s05	B	off	ip	12								
s05	B	off	ib	1	166,6	32,4	81,7	52,6	0,8	0,02	1,0	1,2
s05	B	off	ib	2	192,5	65,5	102,7	24,3	3,2	0,01	0,9	1,0
s05	B	off	ib	3	165,8	51,0	93,8	21,0	-8,1	0,00	0,8	1,0

## Annexes

s05	B	off	ib	4	163,4	47,7	89,0	26,7	-7,3	0,00	0,9	1,0
s05	B	off	ib	5	159,4	57,4	76,0	25,9	-2,4	-0,01	0,9	1,0
s05	B	off	ib	6	127,0	28,3	72,8	25,9	-8,1	0,00	1,0	1,1
s05	B	off	ib	7	135,1	18,6	76,0	40,4	17,0	0,02	1,1	1,3
s05	B	off	ib	8	220,8	46,9	80,1	93,8	-12,9	0,00	0,6	0,9
s05	B	off	ib	9	138,3	38,8	53,4	46,1	20,2	0,04	2,7	4,6
s05	B	off	ib	10								
s05	B	off	ib	11								
s05	B	off	ib	12								
s05	B	on	ap	1								
s05	B	on	ap	2								
s05	B	on	ap	3								
s05	B	on	ap	4								
s05	B	on	ap	5								
s05	B	on	ap	6								
s05	B	on	ap	7								
s05	B	on	ap	8								
s05	B	on	ap	9								
s05	B	on	ap	10								
s05	B	on	ap	11								
s05	B	on	ap	12								
s05	B	on	ab	1								
s05	B	on	ab	2	138,3	92,9	19,8	25,7	31,6	-0,05	4,0	6,0
s05	B	on	ab	3	88,9	30,3	15,2	43,4	1,0	0,09	2,2	3,8
s05	B	on	ab	4	75,8	18,2	22,2	35,4	1,0	0,11	1,5	2,3
s05	B	on	ab	5	93,0	26,3	32,3	34,4	8,1	0,08	3,5	5,8
s05	B	on	ab	6	93,0	19,2	27,3	46,5	-7,1	0,05	4,0	6,6
s05	B	on	ab	7	76,8	21,2	10,1	45,5	-4,0	0,12	1,7	2,8
s05	B	on	ab	8	73,8						1,1	1,7
s05	B	on	ab	9	90,9	21,2	28,2	41,4	3,0	0,11	2,6	4,5
s05	B	on	ab	10								
s05	B	on	ab	11								
s05	B	on	ab	12								
s05	B	on	ip	1	220,3	49,5	103,1	67,7	10,4	0,03	6,7	11,9
s05	B	on	ip	2	230,4	67,7	70,7	92,0	-8,6	0,07	6,9	12,8
s05	B	on	ip	3	187,9	32,3	89,9	65,7	1,0	0,02	7,6	12,3
s05	B	on	ip	4	199,1	58,6	87,1	53,4	-4,5	0,00	7,6	12,0
s05	B	on	ip	5	192,0	53,6	42,4	96,0	-6,1	0,08	5,3	11,1
s05	B	on	ip	6	198,0	29,3	96,0	72,8	9,1	0,02	6,8	11,4
s05	B	on	ip	7	228,4	30,3	92,0	106,1	-3,0	0,01	6,6	11,8
s05	B	on	ip	8	215,9	28,8	101,3	85,8	3,7	0,01	7,3	13,6
s05	B	on	ip	9	201,9	42,9	84,3	74,7	1,2	0,01	4,7	8,8
s05	B	on	ip	10	198,2	32,6	58,4	107,2	2,2	0,07	7,1	14,6
s05	B	on	ip	11								
s05	B	on	ip	12								
s05	B	on	ib	1	164,9	38,4	65,8	60,6	4,4	0,03	4,3	7,2
s05	B	on	ib	2	189,3	32,5	57,0	99,8	-6,6	0,05	4,0	6,7
s05	B	on	ib	3	134,6	41,4	37,7	55,4	-4,4	0,06	3,0	5,1
s05	B	on	ib	4	127,9	25,1	43,6	59,2	-0,7	0,08	2,1	3,7
s05	B	on	ib	5	92,4	22,9	19,2	50,3	-7,4	0,11	1,3	2,2

Annexes

s05	B	on	ib	6	114,6	37,7	23,6	53,3	-8,2	0,13	1,5	2,5
s05	B	on	ib	7	108,7	25,1	20,7	62,8	-3,7	0,12	1,7	2,9
s05	B	on	ib	8	151,6	46,6	22,9	82,1	-34,7	0,07	2,8	3,8
s05	B	on	ib	9	150,1	39,9	37,7	72,5	-24,4	0,06	3,0	4,8
s05	B	on	ib	10	168,6	35,5	78,3	54,7	-0,7	0,03	2,6	4,3
s05	B	on	ib	11								
s05	B	on	ib	12								

**Annexe 1: Tableau des données brutes de références pour les 10 parkinsoniens, pour toutes les répétitions et dans les deux conditions d'enregistrement**

Traitement	Sujet	Session	Etat	CV	Répétition	Pio Max (hPa)
Dopathérapie	d01	A	Off	ap	1	10,1
Dopathérapie	d01	A	Off	ap	2	9,4
Dopathérapie	d01	A	Off	ap	3	9,8
Dopathérapie	d01	A	Off	ap	4	11,3
Dopathérapie	d01	A	Off	ap	5	10,6
Dopathérapie	d01	A	Off	ap	6	9,4
Dopathérapie	d01	A	Off	ap	7	10,5
Dopathérapie	d01	A	Off	ap	8	10,4
Dopathérapie	d01	A	Off	ap	9	9,9
Dopathérapie	d01	A	Off	ap	10	10,7
Dopathérapie	d01	A	Off	ap	11	10,1
Dopathérapie	d01	A	Off	ap	12	
<b>Moyenne</b>						<b>10,2</b>

**Annexe 2: Valeurs du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive /p/ pour les répétitions de [apa] pour le sujet d01 en état Off**

Traitement	Sujet	Session	Etat	CV	Répétition	Pio Max (hPa)
Dopathérapie	d01	A	Off	ab	1	5,5
Dopathérapie	d01	A	Off	ab	2	5,9
Dopathérapie	d01	A	Off	ab	3	5,7
Dopathérapie	d01	A	Off	ab	4	6,3
Dopathérapie	d01	A	Off	ab	5	6,4
Dopathérapie	d01	A	Off	ab	6	5,1
Dopathérapie	d01	A	Off	ab	7	5,8
Dopathérapie	d01	A	Off	ab	8	5,4
Dopathérapie	d01	A	Off	ab	9	6,5
Dopathérapie	d01	A	Off	ab	10	7,1
Dopathérapie	d01	A	Off	ab	11	5,0
Dopathérapie	d01	A	Off	ab	12	
<b>Moyenne</b>						<b>5,9</b>

**Annexe 3: Valeurs du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive /b/ pour les répétitions de [aba] pour le sujet d01 en état Off**

Traitement	Sujet	Session	Etat	CV	Répétition	Pio Max (hPa)
Dopathérapie	d01	A	Off	ip	1	11,7
Dopathérapie	d01	A	Off	ip	2	11,2
Dopathérapie	d01	A	Off	ip	3	10,8
Dopathérapie	d01	A	Off	ip	4	11,6
Dopathérapie	d01	A	Off	ip	5	10,1

Annexes

Dopathérapie	d01	A	Off	ip	6	10,2
Dopathérapie	d01	A	Off	ip	7	10,2
Dopathérapie	d01	A	Off	ip	8	10,1
Dopathérapie	d01	A	Off	ip	9	9,9
Dopathérapie	d01	A	Off	ip	10	9,8
Dopathérapie	d01	A	Off	ip	11	9,7
Dopathérapie	d01	A	Off	ip	12	
					<b>Moyenne</b>	<b>10,5</b>

**Annexe 4: Valeurs du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive /p/ pour les répétitions de [ipi] pour le sujet d01 en état Off**

Traitement	Sujet	Session	Etat	CV	Répétition	Pio Max (hPa)
Dopathérapie	d01	A	Off	ib	1	6,8
Dopathérapie	d01	A	Off	ib	2	5,6
Dopathérapie	d01	A	Off	ib	3	4,8
Dopathérapie	d01	A	Off	ib	4	5,3
Dopathérapie	d01	A	Off	ib	5	7,2
Dopathérapie	d01	A	Off	ib	6	6,7
Dopathérapie	d01	A	Off	ib	7	5,3
Dopathérapie	d01	A	Off	ib	8	6,1
Dopathérapie	d01	A	Off	ib	9	5,6
Dopathérapie	d01	A	Off	ib	10	6,1
Dopathérapie	d01	A	Off	ib	11	5,6
Dopathérapie	d01	A	Off	ib	12	
					<b>Moyenne</b>	<b>5,9</b>

**Annexe 5: Valeurs du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive /b/ pour les répétitions de [ibi] pour le sujet d01 en état Off**

Traitement	Sujet	Session	Etat	CV	Répétition	Pio Max (hPa)
Dopathérapie	d01	A	On	ap	1	8,8
Dopathérapie	d01	A	On	ap	2	9,8
Dopathérapie	d01	A	On	ap	3	9,2
Dopathérapie	d01	A	On	ap	4	9,8
Dopathérapie	d01	A	On	ap	5	9,8
Dopathérapie	d01	A	On	ap	6	9,3
Dopathérapie	d01	A	On	ap	7	9,6
Dopathérapie	d01	A	On	ap	8	11,0
Dopathérapie	d01	A	On	ap	9	9,8
Dopathérapie	d01	A	On	ap	10	9,6
Dopathérapie	d01	A	On	ap	11	9,5
Dopathérapie	d01	A	On	ap	12	10,7
					<b>Moyenne</b>	<b>9,7</b>

**Annexe 6: Valeurs du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive /p/ pour les répétitions de [apa] pour le sujet d01 en état On**

Traitement	Sujet	Session	Etat	CV	Répétition	Pio Max (hPa)
Dopathérapie	d01	A	On	ab	1	5,7
Dopathérapie	d01	A	On	ab	2	5,4
Dopathérapie	d01	A	On	ab	3	6,5
Dopathérapie	d01	A	On	ab	4	4,6

Annexes

Dopathérapie	d01	A	On	ab	5	6,6
Dopathérapie	d01	A	On	ab	6	6,2
Dopathérapie	d01	A	On	ab	7	6,1
Dopathérapie	d01	A	On	ab	8	6,4
Dopathérapie	d01	A	On	ab	9	6,6
Dopathérapie	d01	A	On	ab	10	7,1
Dopathérapie	d01	A	On	ab	11	5,5
Dopathérapie	d01	A	On	ab	12	6,9
					<b>Moyenne</b>	<b>6,1</b>

**Annexe 7: Valeurs du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive /b/ pour les répétitions de [aba] pour le sujet d01 en état On**

Traitement	Sujet	Session	Etat	CV	Répétition	Pio Max (hPa)
Dopathérapie	d01	A	On	ip	1	12,0
Dopathérapie	d01	A	On	ip	2	10,4
Dopathérapie	d01	A	On	ip	3	10,3
Dopathérapie	d01	A	On	ip	4	10,1
Dopathérapie	d01	A	On	ip	5	10,7
Dopathérapie	d01	A	On	ip	6	10,7
Dopathérapie	d01	A	On	ip	7	10,9
Dopathérapie	d01	A	On	ip	8	11,1
Dopathérapie	d01	A	On	ip	9	11,5
Dopathérapie	d01	A	On	ip	10	10,7
Dopathérapie	d01	A	On	ip	11	10,5
Dopathérapie	d01	A	On	ip	12	11,7
					<b>Moyenne</b>	<b>10,9</b>

**Annexe 8: Valeurs du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive /p/ pour les répétitions de [ipi] pour le sujet d01 en état On**

Traitement	Sujet	Session	Etat	CV	Répétition	Pio Max (hPa)
Dopathérapie	d01	A	On	ib	1	6,4
Dopathérapie	d01	A	On	ib	2	6,9
Dopathérapie	d01	A	On	ib	3	5,7
Dopathérapie	d01	A	On	ib	4	6,7
Dopathérapie	d01	A	On	ib	5	6,8
Dopathérapie	d01	A	On	ib	6	5,6
Dopathérapie	d01	A	On	ib	7	6,3
Dopathérapie	d01	A	On	ib	8	4,8
Dopathérapie	d01	A	On	ib	9	6,9
Dopathérapie	d01	A	On	ib	10	7,7
Dopathérapie	d01	A	On	ib	11	6,3
Dopathérapie	d01	A	On	ib	12	7,2
					<b>Moyenne</b>	<b>6,4</b>

**Annexe 9: Valeurs du pic de Pio pendant la phase de tenue de l'occlusive /b/ pour les répétitions de [ibi] pour le sujet d01 en état On**

		d01	d02	d03	d04	d05	s01	s02	s03	s04	s05
Off	ap1	0,13	0,11	0,14	0,08	0,11	0,13	0,19	0,17	0,50	0,27
	ap2	0,13	0,15	0,13	0,09	0,09	0,16	0,16	0,23	0,16	0,35
	ap3	0,08	0,30	0,14	0,06	0,05	0,15	0,14	0,22	0,20	0,34
	ap4	0,09	0,17	0,16	0,08	0,05	0,16	0,19	0,32	0,15	0,23

Annexes

	ap5	0,20	0,22	0,14	0,13	0,07	0,13	0,07	0,29	0,12	0,19	
	ap6	0,13	0,19	0,19	0,11	0,07	0,16	0,12	0,27	0,24	0,40	
	ap7	0,10	0,16	0,13	0,08	0,08	0,07	0,10	0,27	0,32	0,31	
	ap8	0,12	0,18	0,14	0,13	0,08	0,21	0,15	0,27	0,26	0,31	
	ap9	0,10	0,16	0,15	0,11	0,09	0,18	0,14	0,28	0,34	0,28	
	ap10	0,14	0,26	0,28	0,12	0,08	0,15	0,13	0,21	0,32	0,27	
	ap11	0,17	0,19	0,22	0,11	0,08	0,18	0,10	0,36			
	ap12						0,30	0,13				
	ab1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	ab2	1	1	1	1	0,74	1	1	1	1	1	
	ab3	1	1	0,63	1	0,82	1	1	1	1	1	
	ab4	1	1	0,76	1	0,69	1	1	1	1	1	
	ab5	1	1	1	1	0,83	1	0,41	1	1	1	
	ab6	1	1	1	1	0,63	1	1	1	1	1	
	ab7	1	1	1	1	0,85	1	1	1	1	1	
	ab8	1	1	1	1	0,66	1	1	1	1	1	
	ab9	1	1	1	1	0,72	1	0,26	1	1	1	
	ab10	1	1	1	1	0,62	1	1	1	1	1	
	ab11	1	1	1	1		1	1	1			
	ab12		1	1					1			
On	ap1	0,22	0,26	0,22	0,18	0,05	0,15	0,07	0,24	0,39	0,29	
	ap2	0,14	0,18	0,18	0,14	0,06	0,16	0,11	0,21	0,18	0,20	
	ap3	0,29	0,24	0,13	0,16	0,08	0,19	0,11	0,22	0,20	1	
	ap4	0,15	0,29	0,16	0,14	0,06	0,18	0,06	0,26	0,18	1	
	ap5	0,13	0,23	0,16	0,14	0,08	0,11	0,11	0,19	0,17	0,30	
	ap6	0,09	0,21	0,19	0,43	0,07	0,16	0,10	0,18	0,11	0,35	
	ap7	0,15	0,18	0,19	0,12	0,06	0,23	0,07	0,28	0,19	0,20	
	ap8	0,18	0,34	0,18	0,24	0,05	0,20	0,11	0,15	0,27	0,27	
	ap9	0,16	0,23	0,17	0,20	0,05	0,18	0,11	0,30	0,16	0,39	
	ap10	0,16	0,21	0,19	0,16	0,09	0,14	0,11	0,26	0,18	1	
	ap11	0,12	0,21	0,11	0,13	0,11	0,10	0,16	0,14	0,30	0,22	
	ap12	0,18	0,22		0,15			0,14	0,21	0,29	0,37	
		ab1	1	1	1	1	1	1	1	0,44	1	
		ab2	1	1	0,43	1	0,33	1	1	1	0,53	1
		ab3	1	1	1	1	0,51	1	1	1	1	1
		ab4	1	1	0,55	1	0,47	1	1	1	1	1
		ab5	1	1	0,77	1	0,56	1	0,52	1	0,73	1
		ab6	1	1	0,60	1	0,42	1	1	1	1	1
		ab7	1	1	1	1	0,67	1	1	1	0,72	1
		ab8	1	1	1	1	0,50	1	1	1	0,68	1
		ab9	1	1	1	1	0,60	1	1	1	0,67	1
		ab10	1	1	1	1	0,56	1	1	1	0,61	1
		ab11	1	1	0,80	1	0,56	1	1	1	1	1
		ab12	1	1	0,76	1	0,72		0,52	1	1	

**Annexe 10: Tableau de l'indice de voisement pour les répétitions de [apa] et de [aba] pour les 10 sujets dans les deux conditions d'enregistrement Off et On**