Analyse macroscopique des variations et modulations de F0 en lecture dans la maladie de Parkinson : données sur 320 locuteurs

Robin Vaysse, Alain Ghio, Corine Astésano, Jérôme Farinas, François Viallet

▶ **To cite this version:**

Robin Vaysse, Alain Ghio, Corine Astésano, Jérôme Farinas, François Viallet. Analyse macroscopique des variations et modulations de F0 en lecture dans la maladie de Parkinson : données sur 320 locuteurs. 34èmes Journées d'Études sur la Parole (JEP 2022), Association Française de la Communication Parlée, Jun 2022, Noirmoutier, France. pp.307–315, 10.21437/JEP.2022-33 . hal-03726999v2

HAL Id: hal-03726999
https://hal.science/hal-03726999v2

Submitted on 8 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

XXXIVe Journées d'Études sur la Parole – JEP 2022
13-17 June 2022, Île de Noirmoutier, France

Analyse macroscopique des variations et modulations de F0 en lecture dans la maladie de Parkinson : données sur 320 locuteurs

Robin Vaysse[1, 2] Alain Ghio[3] Corine Astésano[2, 4] Jérôme Farinas[1] François Viallet [3, 5]

(1) IRIT, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse INP, UT3, Toulouse, France
(2) Laboratoire de Neuro Psycho Linguistique, Université de Toulouse, France
(3) Aix-Marseille Univ., UMR CNRS 7309, Aix-en-Provence, France
(4) UMR 5267 Praxiling - Université Paul Valéry Montpellier, France
(5) Centre Hospitalier du Pays d'Aix, Service de Neurologie, Aix-en-Provence, France
robin.vaysse@irit.fr

RÉSUMÉ

Les personnes atteintes de la maladie de Parkinson (MDP) souffrent généralement de troubles d'origine laryngée impliquant des anomalies de fréquence fondamentale (F0). Malgré le nombre important d'études de la F0 chez les patients MDP, aucun consensus global n'existe concernant les effets de cette maladie. Cette étude cherche à clarifier ces effets grâce à un large corpus de parole lue (320 locuteurs). Les résultats montrent une élévation de F0 chez les hommes MDP. Nous observons également une réduction des modulations de F0 chez les patients indépendamment du sexe. L'effet du traitement dopaminergique induit une légère augmentation de F0 et réduit la perte des modulations de F0 chez les patients sévèrement atteints. L'âge des patients semble avoir le même impact sur la F0 des personnes MDP et saines. Nos résultats sont en accord partiel avec les modèles physiopathologiques et contredisent sur certains aspects des études faites sur des corpora plus petits.

ABSTRACT

Macroscopic analysis of F0 variations and modulations in reading in Parkinson's disease : data on 320 speakers

People with Parkinson's disease (PD) usually suffer from laryngeal disorders involving fundamental frequency (F0) abnormalities. Despite the large number of studies of F0 on PD patients, no global consensus exists regarding the effects of this disease. This study aims to clarify these effects using a large corpora of read speech containing 320 speakers. The results show an increase in F0 for PD men compared to controls. A decrease in F0 variations is also observed for the patients regardless of gender. We also studied the effect of dopaminergic treatment inducing a slight increase in F0 and reducing the loss of F0 modulations in severely affected patients. Patient age appears to have the same impact on F0 in PD and healthy individuals. Our results are in partial agreement with pathophysiological models and contradict in some aspects studies done on smaller corpora.

MOTS-CLÉS : fréquence fondamentale, maladie de Parkinson, L-dopa, dysarthrie, dysphonie.

KEYWORDS: fundamental frequency, Parkinson disease, L-dopa, dysarthria, dysphonia.

10.21437/JEP.2022-33

1 Les anomalies de la F0 dans la maladie de Parkinson

Les troubles de la production de la parole dans la maladie de Parkinson (MDP) sont désignés sous le terme de dysarthrie hypokinétique selon la classification de (Darley *et al.*, 1975). Pour insister sur le dysfonctionnement phonatoire et respiratoire très présent dans la MDP, (Moreau *et al.*, 2011) ont proposé le terme de « dysarthropneumophonie », qui correspond à une dysphonie d'origine neurologique, pouvant non seulement apparaître précocement (Logemann *et al.*, 1978) mais aussi de façon prépondérante (Ackermann & Ziegler, 1991) par rapport aux troubles articulatoires. Ces troubles d'origine laryngée se traduisent généralement par une diminution de l'intensité vocale, une altération de la qualité vocale et une anomalie de la hauteur (Robert & Spezza, 2005).

Diverses études ont montré que généralement la voix de patients atteints de la MDP est perçue et/ou mesurée comme plus aiguë, surtout chez l'homme. D'après Robert & Spezza (2005), l'augmentation de la F0 serait un mécanisme compensatoire au défaut d'accolement des cordes vocales en phonation : le patient contracterait davantage le muscle crico-thyroïdien tenseur des cordes vocales afin de mieux les accoler pour améliorer sa voix. Ceci entraînerait une augmentation de la pression sous-glottique et de l'intensité, ainsi qu'une augmentation de la F0. C'est aussi l'hypothèse avancée par (Goberman & Coelho, 2002) dans leur modèle physiopathologique de la MDP qui met en relation l'anatomie, les déficits moteurs, les corrélats physiologiques et les mesures observables dans la maladie de Parkinson. Au niveau phonatoire, il prédit notamment une élévation de la F0 conséquente aux tensions laryngées liées à la rigidité parkinsonienne. (Metter & Hanson, 1986) ont observé cette tendance à l'augmentation de la F0 à mesure de l'évolution de la maladie et de l'aggravation de la dysarthrie, ce qui tendrait à confirmer la validité du modèle. En revanche, certaines observations ont systématiquement contredit ce modèle (Meynadier *et al.*, 1999; Viallet *et al.*, 2000), ont observé une baisse de F0 chez les patients parkinsoniens tandis que (De Looze *et al.*, 2012; Ghio *et al.*, 2014) n'ont pas mesuré de différences significatives entre les sujets parkinsoniens et les sujets témoins. Ces résultats peuvent s'expliquer par l'absence de prise en compte des mécanismes pneumophonatoires dans le modèle. En effet, (Sarr *et al.*, 2009) ont montré que la forme hypokinétique de la dysarthrie parkinsonienne induit une baisse significative de la pression sous-glottique lors de la phonation. Or, diverses études ont mis en relation les liens étroits entre pression sous-glottique et F0, avec notamment une forte corrélation positive. On peut donc prédire une baisse de F0 d'origine pneumophonatoire dans la MDP et proposer ainsi un complément au modèle de Goberman (Ghio *et al.*, 2014). Dans tous les cas, (Hertrich & Ackermann, 1995) ont observé que l'effet de la maladie sur le fonctionnement des cordes vocales est différent entre les hommes et les femmes. Il est donc important d'en tenir compte dans nos analyses.

En ce qui concerne les modulations de F0, les résultats semblent plus consensuels : l'un des symptômes majeurs de la dysarthrie parkinsonienne est la monotonie prosodique. Le modèle de Goberman & Coelho prédit une réduction de la dynamique tonale liée aux tensions laryngées et surtout à la baisse de la mobilité laryngée. Elle se mesure par une réduction des variations de F0 dans un énoncé (Viallet *et al.*, 2000; De Looze *et al.*, 2012).

L'objectif de cette étude est d'apporter des éléments de réponses à ces questions sur un vaste corpus de 320 locuteurs dans une tâche de lecture.

2 Matériel et méthode

2.1 Les locuteurs

Notre échantillon est constitué de 316 locuteurs (42% de femmes et 58% d'hommes) dont 205 patients parkinsoniens et 111 sujets témoins enregistrés dans le Service de Neurologie du Centre Hospitalier du Pays d'Aix à Aix-en-Provence (base de données AHN, (Ghio *et al.*, 2012)).

Les locuteurs sont âgés en moyenne de 66.5 ans (σ=9.6) pour les patients parkinsoniens et de 62.7 ans pour les témoins (σ=11.0). La différence est significative entre les deux groupes mais nous considérons que les 4 ans de différence en moyenne entre les groupes n'a pas un impact important en termes de vieillissement de la voix (Hixon et al., 2008).

Les patients parkinsoniens ont une durée moyenne de maladie de 8.7 ans (σ=5.5). Leur score UPDRS (Unified Parkinson's Disease Rating Scale) de déficit moteur en situation OFF (sevrage médicamenteux depuis au moins 12h) est de 28.1 (σ=10.2), ce qui correspond à une maladie installée. Une heure après la prise de L-dopa (situation ON), le score UPDRS moyen est de 14.1 (σ=8.6), ce qui correspond à une amélioration de 50% par rapport à la situation OFF, amélioration notable qui valide la dépendance à la dopa des patients sélectionnés.

Au niveau de la sévérité de la dysarthrie, nous disposons de deux indicateurs : l'item 'parole' (n°18) de l'UPDRS évalué par un neurologue au moment de l'examen et un jugement de la sévérité en aveugle par 4 phoniatres/orthophonistes. L'UPDRS parole, qui peut varier de 0 (parole normale) à 4 (inintelligible) est en moyenne de 1.2 (σ=0.6) en situation OFF et de 0.8 (σ=0.6) en situation ON. Nos locuteurs ont donc une altération légère de la parole.

2.2 Le corpus

Tous les locuteurs ont lu les premiers paragraphes du texte de la « chèvre de M. Seguin » d'Alphonse Daudet à hauteur, intensité et vitesse confortable. Les enregistrements se sont déroulés dans une pièce calme du Centre Hospitalier du Pays d'Aix avec un microphone AKG C520 alimenté par le dispositif EVA2 (Ghio *et al.*, 2012). Le format des fichiers audio est un codage en 16 bits avec une fréquence d'échantillonnage de 25 kHz.

2.3 Les mesures

Les mesures de F0 ont été effectuées avec l'algorithme REAPER [1] qui est un algorithme très utilisé en traitement automatique de la parole en ce moment (Jouvet & Laprie, 2017). Pour limiter la prise en compte de valeurs aberrantes de F0, nous avons utilisé l'algorithme proposé par De Looze et al. (De Looze *et al.*, 2012) dans lequel la détection se fait en deux étapes. Dans une première étape, les valeurs autorisées de F0 sont fixées à l'intervalle 60-600 Hz. Dans un second temps, cet intervalle de détection est ajusté à chaque locuteur en fonction des mesures calculées lors de la 1ère étape. La F0 minimale est ainsi ajustée à q15*0,83 (où q15 est le 15ème percentile de la distribution). De même, la F0 maximale est ajustée à q65*1,92 (où q65 est le 65ème percentile de la distribution). Ces formules sont issues de résultats de corpus plus importants et permettent de réduire les erreurs.

1. https://github.com/google/REAPER

3 Résultats

	Groupe	F0 moyen	Écart type	Écart Interquartile	Nombre
Hommes	**CONTROL**	123.2	20.5	66.6	46
	DOPA-ON	134.8	18.7	60.5	137
	DOPA-OFF	131.3	18.7	60.0	137
Femmes	**CONTROL**	192.7	35.0	111.6	65
	DOPA-ON	192.2	28.2	90.2	68
	DOPA-OFF	189.3	28.5	91.5	68

TABLE 1 – F0 moyenne et modulations de F0 en fonction du sexe et du groupe de locuteurs

La distribution de la F0 moyenne des différents groupes de patients (contrôles, sous traitement médicamenteux et sous sevrage médicamenteux) ne suivant significativement pas une loi normale, les résultats des tests statistiques qui seront présentés sont des tests non paramétriques. La différence entre les groupes contrôles et les groupes pathologiques a été testé en utilisant le test de Mann-Whitney. La significativité des différences entre les enregistrements de personnes sous traitement ou sous sevrage médicamenteux a été testée par l'utilisation de tests de Wilcoxon. Les résultats bruts des valeurs et modulations de F0 sont décrits dans la Table 1.

3.1 Effets de la maladie et du traitement pharmacologique par L-dopa

Conformément au modèle de Goberman & Coelho (Goberman & Coelho, 2002), on note une élévation significative de la F0 chez les hommes atteints de la maladie de Parkinson (134.8 Hz) par rapport au groupe contrôle (123.2 Hz). En revanche, cette élévation de F0 n'est pas présente chez les femmes avec au contraire une légère baisse non significative chez les femmes atteintes de la maladie de Parkinson sous sevrage médicamenteux comme illustré sur la Figure 1.

Concernant les modulations de F0, les différences entre les écarts-types des différents groupes sont illustrées dans la Figure 2. La réduction des modulations de F0 dans la MDP décrite par de nombreuses études est ici confirmée avec des réductions significatives de l'écart type chez les personnes atteintes de la MDP par rapport aux locuteurs contrôles. Ainsi, chez les hommes, l'écart type des personnes saines est de 20.5 Hz contre 18.7 Hz chez les hommes atteints de la MDP. Concernant les femmes, nous obtenons un écart-type de 35.0 Hz chez les sujets contrôles contre 28.5 Hz chez les patients sous sevrage médicamenteux.

En revanche, contrairement au modèle physiopathologique de Goberman & Coelho (2002) , nous n'avons pas mesuré de différences statistiquement significatives au niveau des modulations de la F0 (écart type et écart interquartile) entre les patients avec et sans traitement dopaminergique.

3.2 Effets de la sévérité et la durée de la dysarthrie

Nous n'avons pas constaté de corrélation significative entre l'item parole du score UPDRS (UPDRS$_{parole}$) des patients et leur valeur moyenne de F0. Cependant, il est important de noter

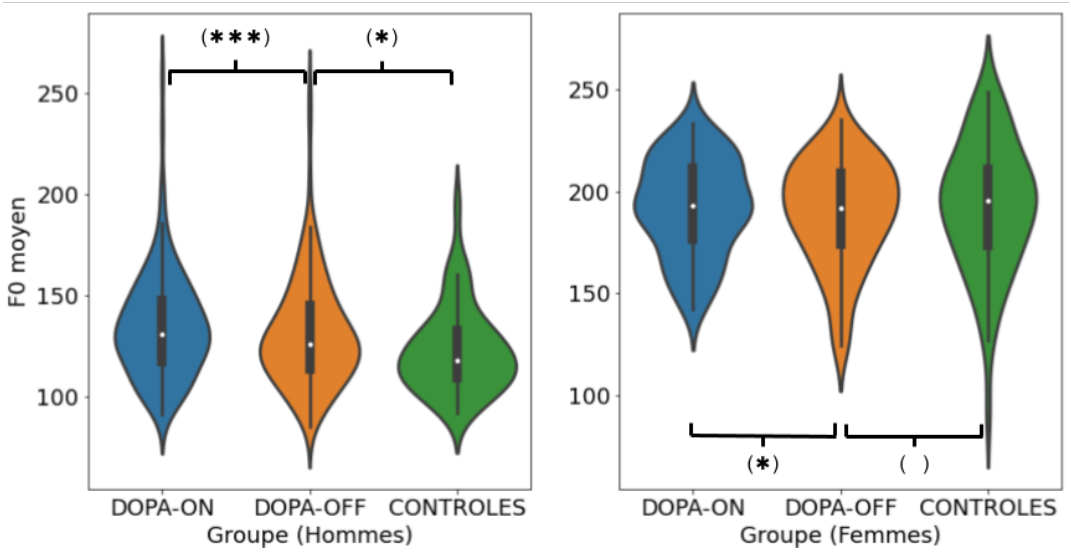

FIGURE 1 – Répartition de la F0 moyenne en fonction du sexe et du groupe de locuteurs. Les (*) indiquent si une différence significative existent ou non entre les groupes : ( ) non significatif ; (*) p-valeur < 0.05 ; (***) p-valeur < 0.001

que seulement 4 patients sur les 205 présentent un score UPDRS_{parole} strictement supérieur à 2 pour les patients ON-DOPA et 5 pour les patients OFF-DOPA.

En revanche, concernant la corrélation entre l'UPDRS total et l'écart-type de la F0, nous pouvons observer un potentiel effet bénéfique du traitement par L-DOPA chez les hommes. En effet, il existe une légère corrélation négative significativement différente de zéro entre l'UPDRS et l'écart-type chez les patients OFF-DOPA (r=-0.22) alors que chez les patients ON-DOPA, cette corrélation n'est pas significative (r=0.04, p-value=0.67). Chez les femmes en revanche, la corrélation est identique que le patient soit ON-DOPA ou OFF-DOPA une corrélation négative est présente (r=-0.28 ON-DOPA et OFF-DOPA). Ce phénomène est illustré sur la Figure 3

L'étude de l'effet de la durée de la maladie n'a pas montré de corrélation significative tant sur la F0 moyenne que les modulations.

3.3 Effets de l'âge

Nous avons voulu vérifier si l'effet de l'âge sur la valeur moyenne de F0 était le même quel que soit le groupe du locuteur. (Hixon *et al.*, 2008) observent une augmentation de F0 chez les hommes à partir de 40 ans tandis que la fréquence fondamentale des femmes aurait tendance à diminuer au cours du temps. (Fougeron *et al.*, 2021) confirment ces observations avec une augmentation constante de F0 chez les hommes de 40 à 70 ans suivie d'une augmentation davantage marquée au delà de 70 ans. Chez les femmes, une légère diminution constante de F0 est présente chez les femmes à partir de 40 ans.

Nous avons donc comparé la F0 moyenne en fonction de l'âge et du genre du patient au travers des différents groupes de locuteurs de notre corpus. Les résultats sont visibles sur la Figure 4. Les

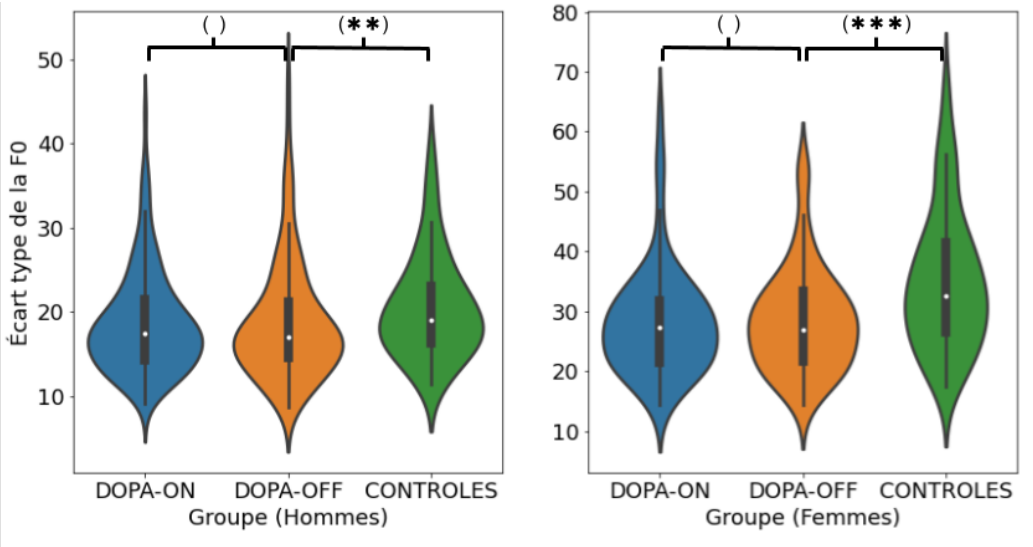

FIGURE 2 – Répartition de l'écart-type de la F0 en fonction du sexe et du groupe de locuteurs. Les (*) indiquent si une différence significative existent ou non entre les groupes : ( ) non significatif ; (**) p-valeur < 0.01 ; (***) p-valeur < 0.001

hypothèses précédentes sont bien vérifiées ici avec une augmentation de la F0 en fonction de l'âge chez les hommes et une diminution chez les femmes. La MDP ainsi que le traitement dopaminergique n'ont pas d'effet significatif sur l'évolution de la F0 en fonction de l'âge sur ce corpus.

Concernant l'évolution de l'écart type de la F0 en fonction de l'âge des patients, nous constatons une augmentation significative chez les hommes (r_{CTRL} = 0.37 ; $r_{DOPA-OFF}$ = 0.19 ; $r_{DOPA-ON}$ = 0.23) qui est cohérente avec l'augmentation de la valeur moyenne de F0. En revanche, chez les femmes aucune corrélation significative n'a été mesurée.

4 Discussion et Conclusion

L'objectif de cette étude était d'observer les anomalies de la F0 dans la maladie de Parkinson en effectuant une comparaison par rapport à un groupe contrôle et en mettant en place, chez les patients, un paradigme de sevrage dopaminergique. Dans un tel cadre, si on considère que l'effet pharmaceutique améliore l'état du patient, on s'attend aux hiérarchies suivantes :
1. Valeur CTRL < Valeur ON < Valeur OFF si la mesure rend compte d'un dysfonctionnement
2. Valeur CTRL > Valeur ON > Valeur OFF si la mesure rend compte d'un bon fonctionnement

L'aspect qui semble le plus clair dans nos résultats concerne les modulations de F0. Dans ce cas, une valeur importante des variations de F0 rend compte de la bonne liberté mélodique du locuteur, liberté qui est entravée dans la MDP, ce qui se traduit par une monotonie et de faibles modulations de F0 (cas n°2 ci-dessus). Dans nos résultats, nous observons cette réduction chez les patients par rapport au groupe contrôle, que ce soit pour les hommes ou pour les femmes. Cette réduction est significative mais l'écart n'est pas considérable (20.5 Hz => 18.7 Hz chez les hommes ; 35.0 Hz => 28.5 chez les femmes). En revanche, nous n'observons aucun effet global de la DOPA sur cette

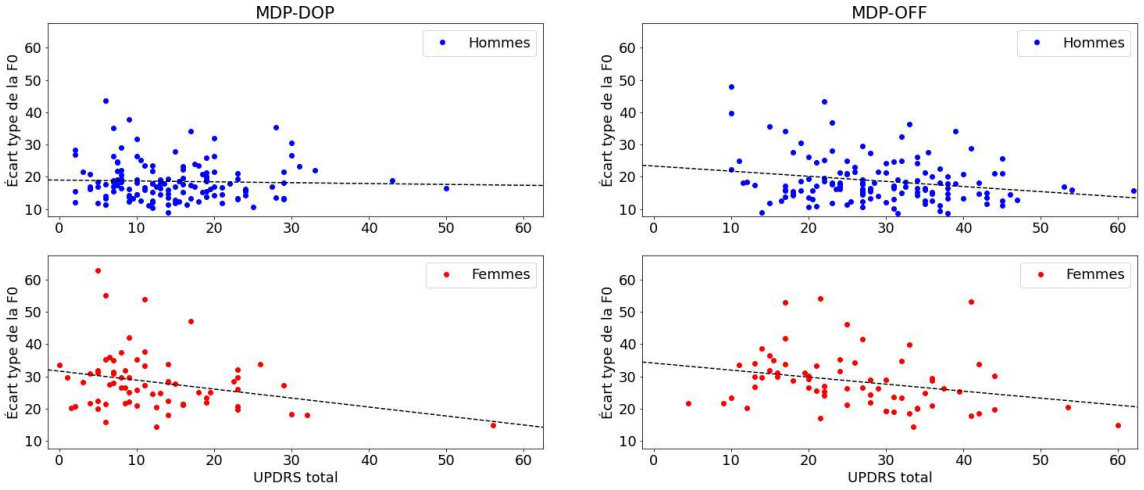

FIGURE 3 – Écart type de la F0 chez les patients en fonction de leur score UPDRS total pour les patients ON-DOPA et OFF-DOPA

caractéristique. Cependant, en observant la corrélation entre le score UPDRS global des patients et leurs modulations de F0, nous observons que chez les patients OFF-DOPA, un UPDRS élevé (atteinte motrice importante) implique une baisse de modulations de F0 alors qu'en ON-DOPA, nous n'observons pas cette corrélation. Ce phénomène pourrait donc être justifié par un effet bénéfique de la L-DOPA qui limiterait la dégradation des modulations de F0 (sans les améliorer) uniquement chez les patients les plus atteints. Il est néanmoins important de noter que le corpus utilisé comporte une faible quantité de locuteurs présentant un score UPDRS$_{parole}$ supérieur à 2. De futures études avec davantage de ce type de locuteurs permettraient donc d'analyser plus en détail le lien entre la sévérité de la dysarthrie et les anomalies de F0 chez les cas les plus sévères.

Concernant la hauteur de la F0, les résultats obtenus semblent globalement en accord avec le modèle proposé par Goberman & Coelho (2002) qui prédit dans la MDP une hausse de F0 (cas n°1 ci-dessus) qui serait due, d'après (Robert & Spezza, 2005), à une contraction accrue du muscle crico-thyroïdien tenseur des cordes vocales afin de mieux les accoler. Nos résultats contredisent certaines études (Meynadier *et al.*, 1999; Viallet *et al.*, 2000; De Looze *et al.*, 2012; Ghio *et al.*, 2014) qui observent une baisse de F0 chez les patients MDP. Cette contradiction peut s'expliquer par le fait que ces études ont été menées sur des corpus de données plus petits qui ne sont pas forcément représentatifs de la population MDP ou sur des productions langagières de type "voyelle tenue" qui relèvent plus de l'exercice pneumophonatoire que de la parole articulée. En revanche, comme observé par (Hertrich & Ackermann, 1995), l'effet de la maladie sur le fonctionnement des cordes vocales est différent entre les hommes et les femmes car nous ne retrouvons pas d'effet significatif sur les femmes. Cependant, nos observations pointent une insuffisance du modèle proposé par Goberman & Coelho (2002) dans la mesure où la dopa devrait réduire l'effet MDP (cas n°1 ci-dessus) alors que nous observons un effet d'augmentation de la F0 quel que soit le genre des patients et ce en accord avec (Ghio *et al.*, 2014). Il apparaît donc nécessaire d'envisager une diversité des anomalies de la F0 moyenne qui peut être : soit élevée sous l'effet de stratégies de compensation visant à optimiser la fermeture laryngée ou sous l'effet correcteur du traitement à la dopa ; soit abaissée comme conséquence initiale du déficit

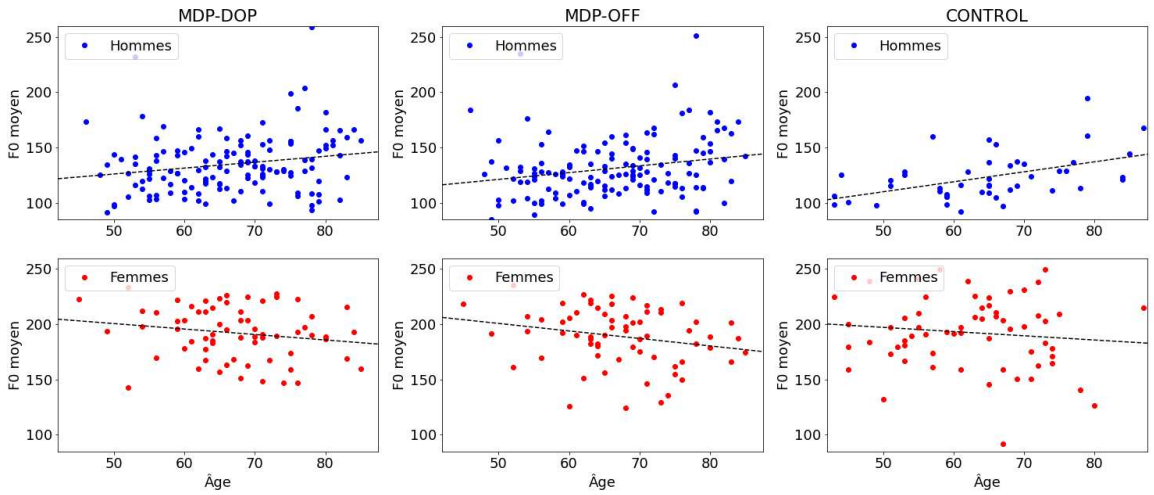

FIGURE 4 – Évolution de la F0 moyenne en fonction de l'âge et du sexe des locuteurs pour les différents groupes MDP sous traitement médicamenteux (MDP-ON) ; MDP sous sevrage (MDP-OFF) ; groupe contrôle (CONTROL)

en dopamine responsable d'une réduction de la pression sous-glottique (Sarr *et al.*, 2009) et d'une incompétence phonatoire par hypokinésie de la musculature laryngée (abaissement amplifié sur des /a/ tenus car très pneumophonatoires) ; soit inchangée par équilibre entre les facteurs d'élévation et d'abaissement (Pinto *et al.*, 2010). Cette question reste donc sans réponse claire.

Les résultats observés sur l'effet de l'âge sur la F0 montrent que conformément à l'étude de Hixon (2008), l'âge des locuteurs a une influence non négligeable sur leur F0. Une baisse de F0 chez les femmes est observée et une hausse chez les hommes. Ces observations sont les mêmes chez les locuteurs sains et les locuteurs Parkinsoniens. Cela montre donc qu'il est crucial de comparer des groupes de locuteurs appariés en âge.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'ANR-18-CE45-0008 « Projet RUGBI» de l'Agence Nationale de la Recherche.

Références

ACKERMANN H. & ZIEGLER W. (1991). Articulatory deficits in parkinsonian dysarthria : An acoustic analysis. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, **54**, 1093–8.

DARLEY F., ARONSNON A. & BROWN J. (1975). Motor speech disorders, saunders w. *B, Philadelphia*, p. 171–975.

DE LOOZE C., GHIO A., SCHERER S., POUCHOULIN G. & VIALLET F. (2012). Automatic analysis of the prosodic variations in parkinsonian read and semi-spontaneous speech. In *Speech Prosody 6th International Conference*, p.4̃.

FOUGERON C., GUITARD-IVENT F. & DELVAUX V. (2021). Multi-dimensional variation in adult speech as a function of age. *Languages*, **6**(4).

GHIO A., POUCHOULIN G., TESTON B., PINTO S., FREDOUILLE C., DE LOOZE C., ROBERT D., VIALLET F. & GIOVANNI A. (2012). How to manage sound, physiological and clinical data of 2500 dysphonic and dysarthric speakers ? *Speech Communication*, **54**(5), 664–679.

GHIO A., ROBERT D., GRIGOLI C., MAS M., DE LOOZE C., MERCIER C. & VIALLET F. (2014). Les anomalies de la fréquence fondamentale chez le locuteur parkinsonien : contraste entre les effets respectifs de l'hypodopaminergie dûe à la maladie de parkinson et de l'apport thérapeutique par l-dopa. *Revue de Laryngologie Otologie Rhinologie*, **135**(2), 63–70.

GOBERMAN A. M. & COELHO C. A. (2002). Acoustic analysis of parkinsonian speech i : speech characteristics and l-dopa therapy. *NeuroRehabilitation*, **17 3**, 237–46.

HERTRICH I. & ACKERMANN H. (1995). Gender-specific vocal dysfunctions in parkinson's disease : electroglottographic and acoustic analyses. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, **104**(3), 197–202.

HIXON T. J., WEISMER G. & HOIT J. D. (2008). *Preclinical speech science : Anatomy, physiology, acoustics, and perception*. Plural Publishing.

JOUVET D. & LAPRIE Y. (2017). Performance analysis of several pitch detection algorithms on simulated and real noisy speech data. In *2017 IEEE 25th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, p. 1614–1618.

LOGEMANN J., FISHER H. B., BOSHES B. & BLONSKY E. R. (1978). Frequency and cooccurrence of vocal tract dysfunctions in the speech of a large sample of parkinson patients. *The Journal of speech and hearing disorders*, **43 1**, 47–57.

METTER E. J. & HANSON W. R. (1986). Clinical and acoustical variability in hypokinetic dysarthria. *Journal of communication disorders*, **19 5**, 347–66.

MEYNADIER Y., LAGRUE B., MIGNARD P. & VIALLET F. (1999). Effects of l-dopa treatment on the production and perception of parkinsonian vocal intonation. *Parkinsonism and Related Disorders*, **5**.

MOREAU C., PENNEL-PLOYART O., PINTO S., PLACHEZ A., ANNIC A., VIALLET F., DESTÉE A. & DEFEBVRE L. (2011). Modulation of dysarthropneumophonia by low-frequency stn dbs in advanced parkinson's disease. *Movement Disorders*, **26**(4), 659–663.

PINTO S., GHIO A., TESTON B. & VIALLET F. (2010). La dysarthrie au cours de la maladie de parkinson. histoire naturelle de ses composantes : dysphonie, dysprosodie et dysarthrie. *Revue Neurologique*, **166**, 800–810.

ROBERT D. & SPEZZA C. (2005). La dysphonie parkinsonienne. *Les troubles de la parole et de la déglutition dans la maladie de Parkinson*, p. 131–143.

SARR M., PINTO S., JANKOWSKI L., TESTON B., PURSON A., GHIO A., RÉGIS J., PERAGUT J. & VIALLET F. (2009). Contribution de la mesure de la pression intra-orale pour la compréhension des troubles de la coordination pneumophonique dans la dysarthrie parkinsonienne. *Revue Neurologique - REV NEUROL*, **165**, 1055–1061.

VIALLET F., MEYNADIER Y., LAGRUE B., MIGNARD P. & GANTCHEVA R. (2000). The reductions of tonal range and of average pitch during speech production in off parkinsonians are restored by l-dopa. In *6th International Congress of Parkinson's Disease and Movement Disorders*.