

Noms des autrices

Pauline Deghorain

Orthophoniste, doctorante en Sciences Psychologiques

Service de Métrologie et Sciences du Langage, UMONS

Institut de Recherche en Sciences et Technologies du Langage, UMONS

Correspondance :

Pauline Deghorain. Université de Mons

Place du parc, 18, 7000 Mons, Belgique

pauline.deghorain@umons.ac.be

Véronique Delvaux

Phonéticienne et Docteure en Philosophie et Lettres

Chercheuse qualifiée du Fonds National de la Recherche Scientifique

Chargée de cours à l'UMONS et l'ULB

Service de Métrologie et Sciences du Langage, UMONS

Institut de Recherche en Sciences et Technologies du Langage, UMONS

Correspondance :

Véronique Delvaux. Université de Mons

Place du parc, 18, 7000 Mons, Belgique

veronique.delvaux@umons.ac.be

Kathy Huet

Physicienne et Docteure en Sciences

Professeure à l'UMONS

Service de Métrologie et Sciences du Langage, UMONS

Institut de Recherche en Sciences et Technologies du Langage, UMONS

Correspondance :

Kathy Huet. Université de Mons

Place du parc, 18, 7000 Mons, Belgique

kathy.huet@umons.ac.be

Myriam Piccaluga

Psychologue et Docteure en Sciences Psychologiques et de l'Éducation

Professeure à l'UMONS

Service de Métrologie et Sciences du Langage, UMONS

Institut de Recherche en Sciences et Technologies du Langage, UMONS

Correspondance :

Myriam Piccaluga. Université de Mons

Place du parc, 18, 7000 Mons, Belgique

myriam.piccaluga@umons.ac.be

Virginie Roland

Psychologue et Docteure en Sciences Psychologiques et de l'Éducation

Première assistante à l'UMONS

Service de Métrologie et Sciences du Langage, UMONS

Institut de Recherche en Sciences et Technologies du Langage, UMONS

Correspondance :

Virginie Roland. Université de Mons

Place du parc, 18, 7000 Mons, Belgique

virginie.roland@umons.ac.be

Évaluation objective de la Dysarthrie Hypokinétique dans la Maladie de Parkinson : Identification de Mesures Fiables des Niveaux de Sévérité.

Objective assessment of Hypokinetic Dysarthria in Parkinson's Disease: Identification of Reliable Measures of Severity Levels.

Résumé

Version française :

Introduction : La maladie de Parkinson (MP) entraîne, chez une majorité de patients des troubles moteurs de la parole, le plus souvent sous forme de dysarthrie hypokinétique. Celle-ci se caractérise par des altérations articulatoires, prosodiques et rythmiques, qui affectent la communication et la qualité de vie. En pratique clinique, l'évaluation repose principalement sur le jugement perceptif, ce qui peut limiter la reproductibilité et la précision du suivi. Le recours à des mesures acoustiques objectives apparaît ainsi comme une voie prometteuse pour mieux caractériser ces troubles et en suivre l'évolution.

Objectifs : Cette étude a pour objectif d'identifier, à partir de mesures temporelles extraites automatiquement d'une tâche de lecture standardisée, des indices pertinents pour : (1) différencier les productions de patients atteints de la MP de celles de sujets témoins ; (2) analyser l'effet du stade de la maladie sur ces paramètres ; (3) examiner l'impact du niveau de sévérité de la dysarthrie, évalué perceptivement.

Méthode : Soixante participants (40 atteints de la MP et 20 contrôles appariés) ont réalisé le module de lecture du protocole MonPaGe-2.0.2-S. Douze mesures temporelles, incluant le débit articulatoire, la durée moyenne des énoncés, la variabilité intersyllabique et différents paramètres de pause, ont été extraites et analysées statistiquement.

Résultats : Les résultats indiquent que plusieurs mesures, dont la durée moyenne des pauses, la variabilité intersyllabique et la durée des énoncés, permettent de distinguer significativement les groupes et de discriminer différents stades de la maladie et niveaux de sévérité de la dysarthrie. En revanche, les mesures de débit ne se révèlent pas sensibles à la sévérité perceptive du trouble.

Discussion : Ces résultats confirment la pertinence de mesures temporelles pour compléter l'évaluation clinique de la dysarthrie hypokinétique. Leur intégration en pratique pourrait contribuer à un suivi plus objectif au service d'une meilleure prise en charge des troubles de la parole dans la MP.

English version:

Introduction: Parkinson's disease (PD) leads, in the majority of patients, to motor speech disorders, most often in the form of hypokinetic dysarthria. This disorder is characterized by articulatory, prosodic, and rhythmic impairments that impact communication and quality of life. In clinical practice, assessment relies mainly on perceptual judgment, which may limit the reproducibility and accuracy of follow-up. The use of objective acoustic measures is therefore a promising approach to better characterize these disorders and monitor their progression.

Objectives: This study aimed to identify, from automatically extracted temporal measures in a standardized reading task, relevant indices to: (1) distinguish speech productions of individuals with PD from those of healthy controls; (2) analyze the effect of disease stage on these parameters; and (3) examine the impact of perceptually rated dysarthria severity.

Methods: Sixty participants (40 with PD and 20 matched controls) completed the text reading module from the MonPaGe-2.0.2-S protocol. Twelve temporal measures, including articulation rate, mean utterance duration, intersyllabic variability, and various pause parameters, were automatically extracted and statistically analyzed.

Results: Several measures, including mean pause duration, intersyllabic variability, and utterance duration, significantly differentiated the groups and discriminated between disease stages and dysarthria severity levels. In contrast, rate measures were not sensitive to perceptual severity ratings.

Discussion: These findings highlight the relevance of simple yet informative temporal measures to complement the clinical assessment of hypokinetic dysarthria. Their integration into practice could promote more objective monitoring, ultimately supporting more effective management of speech disorders in PD.

Évaluation objective – Maladie de Parkinson – Dysarthrie – Sévérité – MonPaGe

Objective assessment – Parkinson's Disease – Dysarthria – Severity – MonPaGe

* Dans cet article, les termes "patient", "participant", "locuteur", "auteur", "expérimentateur", "chercheur" et "clinicien" sont employés de manière inclusive, sans distinction de genre.

Introduction théorique

I - Maladie de Parkinson

A - Contexte anatomo-physiologique

La maladie de Parkinson (MP) est une affection neurodégénérative caractérisée par la perte progressive des neurones dopaminergiques de la substance grise, entraînant un déficit en dopamine dans le striatum et une altération des circuits moteurs des ganglions de la base (Kouli et al., 2018; Armstrong & Okun, 2020). Sur le plan neuropathologique, la présence d'agrégats d'alpha-synucléine sous forme de corps et de neurites de Lewy constitue un marqueur distinctif (Morris et al., 2024).

Le modèle proposé par Braak et al. (2003) a profondément influencé la révision des critères diagnostiques en suggérant que la neurodégénérescence débute dans des structures périphériques, telles que le bulbe olfactif et l'intestin, avant d'atteindre le tronc cérébral puis le cortex (Schapira et al., 2017). Cette progression expliquerait l'apparition précoce de symptômes prodromiques, parfois plusieurs années avant le diagnostic moteur, incluant des troubles de l'odorat, du sommeil, cognitifs et, selon certains auteurs, des modifications subtiles de la parole pouvant annoncer une dysarthrie hypokinétique (Rusz et al., 2021).

B - Description des symptômes

1 - Symptômes moteurs

Le diagnostic clinique de la MP repose sur l'observation de bradykinésie (ralentissement des mouvements), souvent associée à un tremblement de repos, une rigidité musculaire et/ou une instabilité posturale (Armstrong & Okun, 2020; Kouli et al., 2018). Ces symptômes apparaissent de manière unilatérale (Morris et al., 2024).

Les troubles moteurs sont la conséquence directe de la réduction du contrôle dopaminergique dans les circuits du mouvement (Kouli et al., 2018). Au fil du temps, ils deviennent plus invalidants, en particulier à travers l'apparition de fluctuations motrices et de dyskinésies induites par le traitement dopaminergique, ainsi qu'à une réponse parfois incomplète ou moins efficace de ce traitement pour certains symptômes résistants à la dopamine (Armstrong & Okun, 2020; Schapira et al., 2017).

2 - Symptômes non-moteurs

Outre les manifestations motrices, la MP se caractérise par une grande variété de symptômes non-moteurs, souvent présents plusieurs années avant le diagnostic clinique. Parmi eux, se retrouvent des troubles du sommeil, tels que les troubles du comportement en sommeil paradoxal (REM Sleep Behavior Disorder, RBD) mais aussi une hyposmie (diminution de l'odorat), une constipation chronique, une dépression, une fatigue importante, et des troubles anxieux (Berg et al., 2021; Schrag et al., 2015).

Des troubles cognitifs précoces sont aussi rapportés, avec des difficultés attentionnelles, des altérations des fonctions exécutives, et dans certains cas, une démence s'installant à un stade avancé (Prajjwal et al., 2023; Schapira et al., 2017). L'émergence progressive de ces symptômes témoigne d'un processus pathologique étendu impliquant plusieurs réseaux neuronaux au-delà de la voie dopaminergique, notamment les systèmes sérotoninergiques, cholinergiques et noradrénergiques (Armstrong & Okun, 2020).

3 - Dysarthrie hypokinétique

Chez environ 70 à 90 % des patients atteints de MP, des troubles de l'exécution motrice de la parole fréquemment regroupés sous le terme de dysarthrie hypokinétique (Atalar et al., 2023 ; Leite et al., 2023), peuvent être observés. Ce type de dysarthrie se manifeste par une réduction de l'amplitude et de la vitesse des mouvements articulatoires, une monotonie prosodique, une intensité réduite de la voix, et une articulation imprécise (Yamashita et al., 2023). Ces symptômes entravent significativement la communication orale, avec un impact direct sur la qualité de vie des patients (Morris et al., 2024).

La dysarthrie reflète l'atteinte des structures cérébrales et périphériques impliquées dans la production vocale, notamment les noyaux moteurs du tronc cérébral et les systèmes sensorimoteurs cortico-bulbaires (Armstrong & Okun, 2020).

C - Évolution

L'évolution de la MP est lente mais progressive. Elle débute souvent par des signes non-moteurs au stade prodromal, pouvant apparaître 10 à 20 ans avant l'apparition des premiers symptômes moteurs (Berg et al., 2021; Schrag et al., 2015). Le diagnostic clinique est généralement posé une fois que les signes moteurs sont suffisamment marqués, bien que plus de la moitié des neurones dopaminergiques soient déjà détériorés à ce stade (Armstrong & Okun, 2020).

L'évolution varie selon les individus, certains présentant une forme bénigne avec prédominance du tremblement, tandis que d'autres développent rapidement une forme plus sévère associée à des troubles cognitifs et une atteinte motrice diffuse (Berg et al., 2021; Prajjwal et al., 2023).

Plusieurs facteurs influencent cette progression : l'âge de début de la maladie, le profil génétique, la présence de mutations (notamment dans les gènes LRRK2 ou GBA), et le sous-type clinique (tremblement dominant vs forme akinétique-rigide) (Kouli et al., 2018; Morris et al., 2024).

À long terme, les patients peuvent développer une démence parkinsonienne, des troubles de la déglutition, des chutes à répétition, ainsi que des complications liées au traitement, telles que des dyskinésies induites par la lévodopa (Armstrong & Okun, 2020; Schapira et al., 2017). La prise en charge devient alors multidisciplinaire, associant traitements médicamenteux, orthophonie, soutien psychologique et réadaptation fonctionnelle (Prajjwal et al., 2023).

II - Dysarthrie hypokinétique

A - Définition et classification

La dysarthrie est un trouble moteur de la parole d'origine neurologique, affectant un ou plusieurs sous-systèmes impliqués dans la production du langage oral : respiration, phonation, articulation, résonance et prosodie (Pinto & Ghio, 2008). Elle résulte d'un dysfonctionnement du contrôle neuromoteur, engendrant des altérations de la force, de la vitesse, de l'amplitude ou de la coordination des mouvements nécessaires à la parole intelligible (Jerkić et al., 2021; Pinto & Ghio, 2008).

La classification clinique de référence, issue des travaux de la Mayo Clinic, distingue plusieurs types de dysarthries selon leur profil perceptif : spastique, flasque, ataxique, hyperkinétique, ataxique, mixte et hypokinétique, cette dernière étant la seule spécifiquement associée à une pathologie unique, à savoir la maladie de Parkinson (Pinto et al., 2010; Viallet & Teston, 2007).

La dysarthrie hypokinétique se caractérise par un appauvrissement des mouvements articulatoires, une réduction de l'amplitude vocale (hypophonie), un débit hâtif ou irrégulier (festination), un manque de modulation prosodique (monotonie) et une imprécision vocalique et consonantique (Atalar et al., 2023; Skodda & Schlegel, 2008). Ces caractéristiques reflètent un déficit du contrôle moteur extrapyramidal, en lien avec les dysfonctionnements des ganglions de la base et la déplétion dopaminergique (Arefyeva et al., 2019; Rueda et al., 2019).

B - Manifestations cliniques dans la MP

Au cours de la maladie, la dysarthrie hypokinétique devient l'un des symptômes les plus fréquents de la MP (Atalar et al., 2023; Moya-Galé & Levy, 2019). Elle affecte la parole dans ses dimensions articulatoires, prosodiques, phonatoires et rythmiques, ce qui impacte fortement la communication fonctionnelle, la qualité de vie et la participation sociale (Morello et al., 2020; Moya-Galé & Levy, 2019).

Les manifestations acoustiques typiques incluent une voix faible (hypophonie), monotone, soufflée ou enrouée, une réduction de la fréquence fondamentale (F0) et de son étendue, une imprécision consonantique, une accélération de la parole (festination), des pauses fréquentes ou inappropriées, ainsi qu'une réduction de l'espace vocalique et une altération du timbre vocal (Arefyeva et al., 2019 ; Dashtipour et al., 2018 ; Jerkić et al., 2021 ; Rueda et al., 2019 ; Skodda et al., 2009). Ces troubles résultent de perturbations des circuits dopaminergiques, mais aussi de déficits dans les systèmes moteurs et somatosensoriels (Atalar et al., 2023). Ces altérations sont souvent détectées dans les tâches de diadococinésies, où le rythme est ralenti, irrégulier, ou au contraire excessivement rapide selon les cas (Rueda et al., 2019).

L'analyse acoustique met ainsi en évidence une instabilité de la F0, une modification des formants (réduction de F1–F3 reflétant des mouvements articulatoires restreints), ainsi que des anomalies du jitter et du shimmer,

traduisant une altération du contrôle moteur vocal et une coordination inefficace entre respiration et phonation (Dashtipour et al., 2018 ; Wang et al., 2022). Cette combinaison d'altérations contribue à la faiblesse vocale et au débit haché observés dans la dysarthrie parkinsonienne (Dashtipour et al., 2018).

Du point de vue perceptif, les patients semblent présenter des difficultés à moduler l'intensité, l'intonation et le rythme de la parole. Dans des stades plus avancés, cela entraîne une intelligibilité réduite, même dans des contextes familiers ou des langues bien maîtrisées (Morello et al., 2020). Cette baisse d'intelligibilité peut être parfois plus sévère que les résultats de l'analyse acoustique seule, d'où l'intérêt de croiser les approches (Gómez et al., 2019).

Par ailleurs, une anosognosie partielle, notamment liée à la perception altérée de leur propre intensité vocale, est observée chez certains patients (Dashtipour et al., 2018; Skripkina & Arefyeva, 2021). Ils présentent ainsi une conscience réduite de leurs difficultés vocales, ce qui peut limiter l'implication et l'engagement spontané dans une prise en charge (Atalar et al., 2023).

Enfin, les profils dysarthriques étant influencés par le stade de la maladie, les comorbidités cognitives, le traitement pharmacologique, le sexe, ou encore l'âge, sont d'une grande variabilité. Ainsi, l'identification de schémas évolutifs universels est plus complexe (Gómez et al., 2019; Lowit et al., 2018). Cela souligne la nécessité d'évaluations multimodales combinant jugements perceptifs, mesures instrumentales et questionnaires subjectifs (Jerkić et al., 2021; Kovac et al., 2024).

C - Évolution

La progression de la dysarthrie dans la MP est généralement lente mais continue, et sa sévérité n'évolue pas toujours de manière parallèle aux symptômes moteurs globaux (Skodda et al., 2009; Wang et al., 2022). Les études longitudinales montrent notamment que la variabilité prosodique (hauteur, intensité) peut diminuer significativement au fil du temps, même lorsque les scores moteurs (évalués à partir de l'UPDRS) restent stables (Skodda et al., 2009).

Chez certains patients, le débit de parole diminue avec l'évolution de la maladie, tandis que chez d'autres, la tendance à la festination (accélération incontrôlée) s'accroît (Lowit et al., 2018; Skodda et al., 2009). Ces trajectoires différenciées semblent en partie liées au sexe, à l'âge de début de la maladie et à l'évolution cognitive (Kovac et al., 2024; Skodda et al., 2009).

Sur le plan clinique, cette variabilité rend complexe l'établissement d'un suivi standardisé. Néanmoins, plusieurs études soulignent que certaines mesures temporelles comme la stabilité de la voix tenue, la modulation de l'intonation, le débit de parole ou la fréquence des pauses, constituent des indices sensibles de l'évolution du trouble dysarthrique, parfois indépendamment de l'aggravation des symptômes moteurs globaux (Rueda et al., 2019; Skodda et al., 2009; Viallet & Teston, 2007).

Enfin, l'accès limité aux soins orthophoniques spécialisés et l'absence de consensus sur les traitements efficaces (hors LSVT (Ramig et al., 2011)) constituent

des freins importants à une prise en charge optimale. Une approche multidisciplinaire centrée sur l'intelligibilité et la participation sociale, plutôt que sur la normalisation du signal vocal, est par ailleurs préconisée (Arefyeva et al., 2019; Atalar et al., 2023; Moya-Galé & Levy, 2019).

III - Évaluation

A - Contexte clinique

Dans la pratique clinique quotidienne, l'évaluation des troubles moteurs de la parole repose encore majoritairement sur l'examen perceptif du signal vocal. Cette prédominance de l'évaluation auditive s'explique par sa facilité d'accès, son faible coût et sa compatibilité avec les contraintes de temps en milieu hospitalier et ambulatoire (Enderby, 2011; Jerkić et al., 2021). Toutefois, elle présente des limites bien connues, notamment une faible sensibilité aux variations subtiles, une variabilité inter-juges élevée et un manque de reproductibilité (Menin-Sicard & Sicard, 2022; San Segundo & Hernández, 2021).

Plusieurs auteurs soulignent que l'examen perceptif peut suffire pour identifier la présence d'un trouble, mais se révèle insuffisant pour caractériser précisément sa nature et son évolution (Auzou, 2019; Rusz et al., 2021). Par ailleurs, les cliniciens disposent souvent de peu d'outils validés en français pour guider ces jugements ou soutenir les décisions diagnostiques (Favaro et al., 2023; Ghio et al., 2024). Cette réalité contraste avec la complexité des troubles moteurs de la parole, qui touchent plusieurs dimensions simultanément : voix, articulation, prosodie, intelligibilité, débit (Ngo et al., 2022).

Dans ce contexte, plusieurs travaux plaident pour une complémentarité entre les jugements perceptifs, les auto-questionnaires, et les mesures objectives (Majerus et al., 2023; Pernon et al., 2020), l'objectif étant de mieux détecter, quantifier et suivre l'évolution des troubles, notamment dans les pathologies neurodégénératives comme la MP.

B - Mesures acoustiques pertinentes

Les études acoustiques menées chez les patients avec MP ont mis en évidence plusieurs mesures sensibles aux altérations motrices de la parole. La modulation de la fréquence fondamentale est fréquemment réduite, ce qui contribue à une monotonie prosodique (Rusz et al., 2021 ; Yang et al., 2020). La variabilité temporelle du signal vocal, évaluée via le rythme de la parole, la durée des pauses ou les disfluences, est également affectée (Washle et al., 2008 ; Vasquez-Correa et al., 2018).

Parmi les mesures les plus pertinentes figurent l'amplitude des variations d'intonation, la stabilité de la voix tenue (jitter, shimmer), la vitesse d'articulation, la durée moyenne des syllabes, le pourcentage de pauses silencieuses et les performances en diadococinésie (Rusz et al., 2021 ; San Segundo & Hernandez, 2021 ; Moro-Velasquez et al., 2021). Ces paramètres permettent de distinguer différents degrés de sévérité de la dysarthrie et, dans certains cas, d'observer des

changements liés à l'effet des traitements ou à l'évolution naturelle du trouble (Pinto, 2017 ; Pawlukowska et al., 2018).

Plusieurs études insistent aussi sur l'importance d'évaluer ces mesures dans des tâches variées, incluant des voyelles tenues, de la lecture, de la parole spontanée et des séquences automatisées, et ce afin de disposer d'une représentation plus complète des altérations, à la fois en contexte contrôlé et en situation plus proche de la communication réelle (Fougeron et al., 2018 ; Rusz et al., 2021). L'analyse multi-dimensionnelle, combinant ces différents paramètres, semble particulièrement prometteuse pour affiner la caractérisation de la dysarthrie hypokinétique.

C - Outils objectifs

1 - Méthodes objectives d'analyse acoustique

L'intégration de mesures objectives dans la pratique clinique reste limitée, bien que plusieurs outils aient été développés pour faciliter ce type d'évaluation. À l'international, des protocoles semi-automatisés permettent d'extraire rapidement des mesures acoustiques pertinentes à partir de tâches standardisées, incluant la production de voyelles soutenues, de phrases, ou de lecture de texte (Rusz et al., 2021; San Segundo & Hernández, 2021). Ces outils s'appuient sur des logiciels tels que Praat (Boersma & Weenick, 2024), combinés à des scripts d'analyse paramétrés, ou sur des interfaces cliniques spécifiques développées pour le diagnostic des troubles moteurs de la parole (Vásquez-Correa et al., 2018; Walshe et al., 2009).

Toutefois, il n'existe pas encore de protocole universellement adopté, ce qui entraîne des différences dans le choix des tâches, des paramètres mesurés et des procédures d'analyse. Cette absence de standardisation limite la comparabilité des études et freine l'intégration systématique de ces outils en clinique (Vásquez-Correa et al., 2018 ; Menin-Sicard & Sicard, 2022).

L'analyse automatique du signal vocal à l'aide d'algorithmes de classification ou de scoring est également en plein essor, notamment dans des approches combinant intelligence artificielle et évaluation clinique (Laganaro et al., 2021; Vásquez-Correa et al., 2018). Ces dispositifs offrent des perspectives prometteuses pour un suivi objectif et reproductible, mais leur utilisation reste encore limitée en pratique courante, notamment en raison des barrières technologiques (Menin-Sicard & Sicard, 2022; Pommée et al., 2024).

2 - Et en français ?

En contexte francophone, peu d'outils objectivables ont été développés spécifiquement pour l'évaluation des troubles moteurs de la parole. Le protocole MonPaGe-2.0.2-S (Laganaro et al., 2021; Pernon et al., 2020). constitue à ce jour une solide référence. Il s'agit d'un outil informatisé intégrant des tâches variées (lecture, répétition, séries automatiques, parole semi-spontanée) et évaluant plusieurs dimensions : voix, articulation, prosodie, intelligibilité, débit, contrôle pneumo-phonique (Laganaro et al., 2021; Pernon et al., 2020).

MonPaGe a été normalisé sur plus de 400 locuteurs francophones issus de contextes francophones différents (France, Belgique, Suisse et Canada). Il permet un scoring perceptif et acoustique semi-automatisé, offrant un compromis entre rapidité, objectivité et pertinence clinique (Laganaro et al., 2021; Pernon et al., 2020). Plusieurs modules spécifiques permettent de capter les altérations caractéristiques des dysarthries hypokinétiques, notamment : la lecture de texte pour l'évaluation combinée de la prosodie, de la précision articulatoire et du rythme; les diadococinésies (AMR/SMR), pour mesurer la vitesse et la régularité des séquences répétées ; le contrôle pneumo-phonique, pour analyser le temps maximum phonatoire et la coordination souffle-parole; la lecture de phrase, pour tester la réalisation des contrastes prosodiques ; la répétition de pseudo-mots pour examiner la précision articulatoire sur des séquences complexes ; et l'intelligibilité, pour estimer la compréhension de la parole en contexte fonctionnel (Laganaro et al., 2021; Pernon et al., 2020).

Par ailleurs, l'intérêt d'utiliser une tâche de lecture standardisée dans les protocoles d'évaluation a été souligné par Pommée et al. (2024). Cette tâche permet d'intégrer des productions assez proches de la parole spontanée tout en contrôlant les segments à analyser. L'étude démontre que la lecture d'un texte calibré facilite l'extraction de mesures acoustiques pertinentes, notamment en prosodie, fluence et articulation, tout en assurant une bonne reproductibilité des données.

IV - Objectifs de l'étude

Dans ce contexte, la présente étude vise à mieux caractériser la dysarthrie hypokinétique associée à la MP, en s'appuyant sur des mesures acoustiques objectives issues d'une tâche de lecture standardisée. Trois axes principaux sont explorés : (1) comparer les productions de sujets MP à celles de sujets contrôles afin d'identifier des mesures acoustiques temporelles discriminantes ; (2) évaluer l'impact du stade de la maladie sur ces mesures temporelles ; (3) examiner les effets du niveau de sévérité de la dysarthrie, tel qu'évalué perceptivement par des orthophonistes, sur ces mêmes mesures, l'objectif général étant de mettre en évidence des marqueurs temporels pertinents, susceptibles d'améliorer l'évaluation clinique de la dysarthrie parkinsonienne et de contribuer au développement d'outils de suivi plus objectifs et reproductibles.

Méthodologie

I - Échantillon

A - Recrutement

L'échantillon est composé de 40 patients atteints de la MP et de 20 participants contrôle, appariés en âge et sexe. Les patients ont été recrutés dans deux centres hospitaliers belges : le CHU Tivoli (La Louvière) et le CHU André Vésale (Montigny-le-Tilleul), dans le cadre de leur prise en charge neurologique. Tous les patients présentaient un diagnostic de MP posé par une neurologue de l'hôpital.

La présence d'une dysarthrie a été confirmée par un·e orthophoniste clinicien·ne, sur base d'un examen clinique. Le niveau de sévérité du trouble dysarthrique a été déterminé par évaluation perceptive, réalisée par ce·tte même professionnel·le.

En raison de contraintes liées aux recueils dans les différents lieux de passation, les données relatives au stade de la maladie n'étaient pas disponibles pour l'ensemble des patients MP, c'est pourquoi l'analyse de l'effet du stade de la MP a été réalisée sur 27 des 40 patients. De même, les informations relatives à la sévérité de la dysarthrie définie via une évaluation clinique de l'orthophoniste de terrain n'ont pu être obtenues que pour 28 patients MP, ce qui a limité cette analyse à cet effectif.

B - Critères d'inclusion et d'exclusion

Les participants du groupe MP devaient avoir reçu un diagnostic de maladie de Parkinson idiopathique et présenter une dysarthrie, quel que soit son niveau de sévérité. Tous devaient être âgés de plus de 18 ans et avoir au minimum le français comme langue maternelle (L1). Le groupe contrôle est constitué d'adultes francophones, sans antécédents neurologiques ni troubles moteurs de la parole.

Les critères d'exclusion communs aux deux groupes incluent la présence de troubles sensoriels non corrigés (visuels ou auditifs), l'usage d'une langue maternelle autre que le français, ainsi que l'existence d'un trouble du langage avéré, comme une aphasia ou un trouble cognitivo-linguistique.

C - Description de l'échantillon et des groupes

L'âge des 40 patients atteints de MP est compris entre 54 et 82 ans (Tableau 1). Le groupe contrôle est composé de 20 adultes neurotypiques âgés de 63 à 90 ans (Tableau 1), ne présentant aucune atteinte neurologique ni trouble de la parole.

Tableau 1. Description des groupes de participants à l'étude

| Groupe | Sexe | N | Moyenne de l'âge (ans) | Écart-type de l'âge (ans) |
|----------|-------|----|------------------------|---------------------------|
| Contrôle | Femme | 11 | 76.5 | 6.47 |
| | Homme | 9 | 74.0 | 9.58 |
| | Total | 20 | 75.3 | 8.08 |
| MP | Femme | 18 | 66.8 | 6.37 |
| | Homme | 22 | 70.2 | 5.21 |
| | Total | 40 | 68.7 | 5.99 |
| Total | Femme | 29 | 70.48 | 7.92 |
| | Homme | 31 | 71.29 | 6.971 |
| | Total | 60 | 70.90 | 7.448 |

Les patients MP pour lesquels l'information concernant le stade de la maladie était disponible (N=27) ont été répartis en 2 sous-groupes selon le stade de la MP, défini par le neurologue de référence à partir de l'échelle de Hoehn & Yahr : modéré ($2 \leq \text{score} \leq 3$) et sévère ($\text{score} \geq 4$). Ce choix a été motivé par l'absence de sujets MP au stade « léger » recrutés. Par ailleurs, les patients MP dont le niveau de sévérité de la dysarthrie avait été évalué (N=28) ont été répartis en 3 sous-groupes : dysarthrie légère, avancée et sévère.

D - Considérations éthiques

Le protocole de recherche a été approuvé par le comité d'éthique de l'Hôpital Erasme – ULB (Bruxelles, Belgique), sous la référence P2024/440 ; CCB : B4062024000317. Les comités d'éthique locaux des différents centres de collecte de données (CHU Tivoli, CHU Vésale – HELORA, Epicura, CHWAPI, CHU HELORA – Erasme ULB) ont été consultés dans le cadre d'une procédure d'avis unique.

Un consentement éclairé écrit a été obtenu auprès de chaque participant avant son inclusion dans l'étude. Le processus de consentement s'est déroulé conformément à la Déclaration d'Helsinki, aux bonnes pratiques cliniques (ICH-GCP) et à la législation belge relative à la recherche impliquant des êtres humains. La participation était volontaire et pouvait être interrompue à tout moment sans conséquence sur la prise en charge médicale.

II - Matériel et méthodes

A - Tâche de parole

Les données vocales analysées dans cette étude proviennent d'un sous-ensemble des productions orales recueillies à l'aide du protocole informatisé MonPaGe-2.0.2-S (Fougeron et al., 2018; Pernon et al., 2020), une batterie francophone standardisée d'évaluation des troubles moteurs de la parole. Ce protocole complet comprend 12 modules distincts dont chaque tâche cible une dimension spécifique de la production orale.

Dans le cadre de la présente étude, seule la tâche de lecture de texte a été exploitée. Cette tâche consiste en la lecture continue d'un texte narratif composé de huit paragraphes, totalisant 188 mots, affichés successivement à l'écran (Figure 1) (Fougeron et al., 2018; Pernon et al., 2020). Le texte a été spécifiquement élaboré par des linguistes et phonéticiens francophones afin de refléter des particularités structurelles du français, telles que les voyelles nasales, les groupes consonantiques complexes, ou les schémas de coarticulation.



Figure 1. Extrait de la tâche de lecture de texte (MonPaGe-2.0.2-S)

Cette tâche permet une évaluation fine et écologique de plusieurs dimensions de la parole : l'organisation phonétique du système vocalique, la précision articulatoire, les phénomènes de coarticulation, la prosodie expressive induite par la ponctuation ainsi que la fluence et le débit de parole.

La tâche de lecture permet d'évaluer la production vocale dans un contexte structuré mais fonctionnel, en s'appuyant sur un stimulus calibré et riche sur les plans linguistique et prosodique (Pommée et al., 2024).

B - Déroulement

Les productions orales ont été enregistrées à l'aide d'un microphone Zoom H5 relié à un ordinateur équipé du logiciel MonPaGe. Les enregistrements ont eu lieu dans un bureau calme dédié ou, en cas de nécessité, dans la chambre du patient.

Avant ou entre les sessions, l'expérimentateur collectait des données anamnestiques générales (voir Annexe 1), les réponses à plusieurs questionnaires standardisés (voir Annexe 2) ainsi que des observations contextuelles. Les questionnaires étaient complétés de manière autonome ou en interaction avec l'expérimentateur, selon les capacités des participants. Les analyses spécifiques de ces questionnaires et informations contextuelles seront exploitées dans le cadre d'une prochaine étude.

Dans le cadre de la présente étude, deux informations ont été analysées : le stade de la maladie, recueillie dans le cadre du MDS-UPDRS (Goetz, 2010) ainsi que la sévérité de la dysarthrie, recueillie dans le cadre des informations anamnestiques.

C - Prétraitement des données et types d'analyses

1 - Organisation des données

Les fichiers audios du module « lecture de texte » ont été organisés dans un dossier centralisé, avec un sous-dossier dédié par participant. Pour chaque participant, huit enregistrements distincts ont été analysés correspondant à la segmentation en huit paragraphes de la lecture du texte. Les fichiers ont été renommés de façon standardisée (sans accents ni espaces) afin d'assurer une compatibilité optimale avec les outils de traitement.

2 - Alignement automatique

L'alignement temporel des transcriptions a été réalisé à l'aide du service WebMAUS (Pipeline with ASR), qui permet de générer des fichiers de type TextGrid (fichier texte d'annotations du signal) contenant différents niveaux d'annotations compatibles avec le logiciel Praat. Le service a été configuré pour le français, avec une sortie au format API (alphabet phonétique international). Les fichiers obtenus ont ensuite été vérifiés et complétés manuellement à l'aide du logiciel Praat.

3 - Corrections manuelles des annotations

Chaque fichier TextGrid a été vérifié au regard de l'audio correspondant afin de corriger les éventuelles erreurs d'alignement. Une segmentation supplémentaire en énoncé (segments de parole séparés par des pauses de minimum 250 ms) a été ajoutée et les frontières des mots, des syllabes et des phonèmes ont été modifiées manuellement par plusieurs chercheurs spécialistes du langage (Figure 2). Cette étape a permis d'optimiser la précision de la segmentation avant l'analyse acoustique.

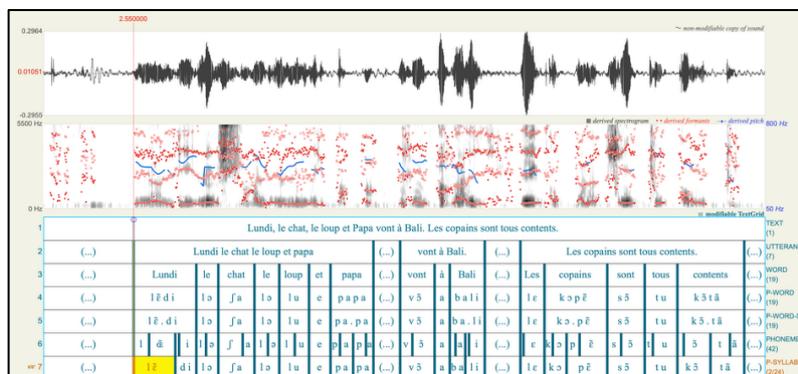


Figure 2. Exemple de segmentation en différents niveaux d'un paragraphe tel que visualisé à l'aide du logiciel Praat.

4 - Extraction des mesures acoustiques

L'analyse et le recueil des données ont été réalisés à l'aide d'un script Praat développé dans le cadre de la présente étude. Le script a été exécuté spécifiquement pour chacun des 8 enregistrements de production de parole recueillis pour chaque participant. Il permet, sur chaque enregistrement, l'extraction automatique de diverses mesures à cinq niveaux : sur la production dans son ensemble, par énoncé, par mot, par syllabe et par phonème. Seules les mesures temporelles recueillies sur la totalité de la production orale de chaque paragraphe ont été exploitées dans le cadre de la présente étude.

III - Mesures temporelles

L'analyse acoustique de la tâche de lecture de texte porte sur un ensemble de mesures temporelles extraites automatiquement, pour chaque sujet, sur chacun des 8 enregistrements effectués sur les 8 paragraphes du texte lu. Ces mesures permettent d'évaluer le débit, la fluence et la structuration temporelle de la parole produite. Elles sont détaillées dans le tableau 4.

Tableau 2. Définitions des différentes mesures acoustiques effectuées.

| Mesures | Définition opératoire |
|---|--|
| Durée totale (s) | Durée totale de l'enregistrement, en secondes. |
| Ecart-intersyllabique (EIS) maximum/minimum (s) | Écart intersyllabique (EIS) minimal/maximal, mesuré entre les pics d'intensité de deux syllabes successives (Piccaluga & al., 2007). |
| Médiane/Moyenne/Écart-type/Écart interquartile de l'EIS (s) | Indices statistiques descriptifs de l'EIS : moyenne, médiane, dispersion (écart-type) et étalement (intervalle interquartile), reflétant la régularité du rythme syllabique. |
| Débit de parole (phonème/s) | Nombre de phonèmes produits par seconde, pauses comprises ; reflétant le débit global de parole. |
| Débit articulatoire (phonème/s) | Nombre de phonèmes produits par seconde, hors pauses, indiquant plus précisément la vitesse d'articulation. |
| Nombre de pauses* (sans unité) | Nombre total de pauses détectées dans l'enregistrement. |
| Durée totale des pauses* (s) | Durée cumulée des pauses. |
| Durée moyenne des pauses* (s) | Durée moyenne des pauses. |
| Durée moyenne des énoncés (s) | Durée moyenne des énoncés, définis comme des segments de parole séparés par des pauses. |

*Une pause est définie ici comme un arrêt de la production orale d'une durée supérieure ou égale à 250 ms.

Ces mesures permettent de documenter les éventuelles altérations du débit de parole, de la fluence, du rythme syllabique et de l'utilisation des pauses. Elles sont particulièrement pertinentes dans l'évaluation de la dysarthrie hypokinétique, où ces dimensions sont fréquemment affectées (Vásquez-Correa et al., 2018).

Résultats

I - Procédures statistiques

L'ensemble des analyses statistiques ont été réalisées avec un seuil de significativité fixé à $p < .05$ au moyen du logiciel SPSS (version 29.0.2.0 : (IBM Corp., 2023)). Le choix du test statistique dépend du respect des conditions d'application des procédures paramétriques : en cas de normalité de la distribution et d'homogénéité des variances, un t de Student pour échantillons indépendants a été utilisé. Dans le cas contraire, un test non paramétrique U de Mann-Whitney a été appliqué lorsque la variable indépendante comporte deux niveaux (effet de la MP et effet du stade de la MP) et un test non paramétrique de Kruskal-Wallis (K-W) a été appliqué lorsque la variable indépendante comporte 3 niveaux (effet de la sévérité de la dysarthrie). En présence d'un effet principal significatif, des tests post-hoc U de Mann-Whitney (M-W) ont été réalisés avec correction de Bonferroni.

II - Effet de la MP sur la dynamique temporelle de la production orale

Afin d'étudier l'éventuelle altération de la dynamique temporelle due à la maladie de Parkinson, des comparaisons statistiques ont été réalisées entre les deux groupes : MP (N=40) et contrôle (N=20), sur l'ensemble des mesures temporelles extraites du module de lecture.

Quatre mesures acoustiques présentent une différence significative entre les deux groupes. Ainsi, les sujets MP présentent un EIS maximum (U = 22444.00, $p = .028$), une médiane des EIS (U = 29203.50, $p = .012$), et un écart-type de l'EIS (U = 22602.00, $p = .036$) significativement plus élevés que les sujets contrôles. Par ailleurs, la durée moyenne des énoncés est significativement réduite dans le groupe MP (U = 30033.00, $p = .002$) comparativement aux sujets contrôles.

Afin de faciliter la comparaison visuelle des résultats significatifs, les valeurs des quatre mesures présentant une différence significative entre les groupes ont été transformées en Z-scores. Cette standardisation a permis de représenter sur un même graphique des mesures exprimées sur des échelles différentes (Figure 3). Nous observons une grande variabilité des mesures dans le groupe MP par rapport aux sujets contrôles.

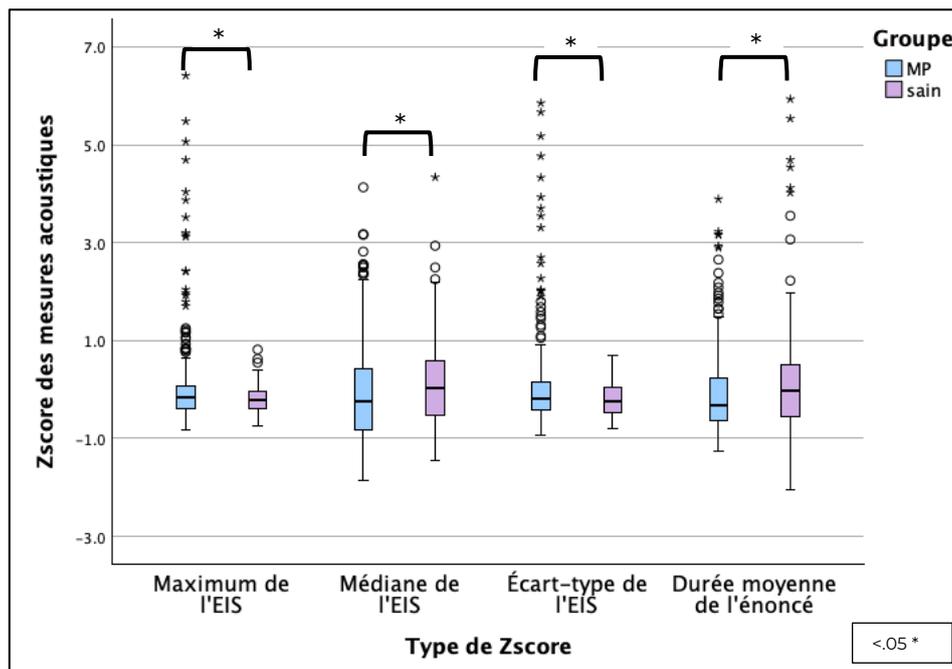


Figure 3. Effet de la MP sur les différentes mesures acoustiques significatives (M-W)

Aucune différence significative n'a été observée pour les autres mesures temporelles, notamment la durée totale, les mesures de l'EIS (moyenne, interquartile), le débit global ou les mesures relatives aux pauses (toutes $p > .05$). Le tableau 5. reprend l'ensemble des résultats

Tableau 3. Effet du groupe (MP et contrôle) sur les mesures temporelles analysées

| Mesures | Valeur de la statistique | Effet MP/contrôle |
|----------------------------------|--------------------------|-------------------|
| Durée totale (s) | U = 24425 | NS (.412) |
| EIS minimum (s) | U = 26563.5 | NS (.501) |
| EIS maximum (s) | U = 22444 | S (.028) |
| Médiane de l'EIS (s) | U = 29203.5 | S (.012) |
| Écart interquartile de l'EIS (s) | U = 25626.5 | NS (.985) |
| Moyenne de l'EIS (s) | U = 26422.5 | NS (.566) |
| Écart-type de l'EIS (s) | U = 22602 | S (.036) |
| Débit de parole (phonème/s) | U = 25020.5 | NS (.686) |
| Débit articulatoire (phonème/s) | U = 23151 | NS (.087) |
| Nombre de pause | U = 25380 | NS (.877) |
| Durée moyenne des énoncés (s) | U = 30033 | S (.002) |
| Durée totale des pauses (s) | U = 24553.5 | NS (.465) |
| Durée moyenne des pauses (s) | U = 23591.5 | NS (.161) |

III - Effet du stade de la maladie sur la dynamique temporelle de la production orale

Afin d'évaluer l'impact de la progression de la maladie sur les mesures acoustiques temporelles, des comparaisons ont été réalisées entre les deux sous-groupes de patients MP répartis selon le stade de la maladie défini par l'échelle de Hoehn & Yahr (modéré et sévère). Les données relatives au stade de la maladie n'étant pas disponibles pour l'ensemble des patients MP, les analyses portent ici sur 27 des 40 sujets MP (Tableau 4).

Tableau 4. Répartition et âge (moyenne et écart-type) des sujets MP selon le stade (échelle H&Y) de la MP et le sexe

| Stade de la MP | Sexe | N | Moyenne de l'âge (ans) | Écart-type de l'âge (ans) |
|----------------|-------|----|------------------------|---------------------------|
| Modéré | Femme | 12 | 65.00 | 5.552 |
| | Homme | 11 | 70.00 | 4.717 |
| | Total | 23 | 67.39 | 5.73 |
| Sévère | Femme | 3 | 68.33 | 6.479 |
| | Homme | 1 | 70.00 | / |
| | Total | 4 | 68.75 | 5.63 |
| Total | Femme | 16 | 65.67 | 5.875 |
| | Homme | 12 | 70.00 | 4.514 |
| | Total | 27 | 67.59 | 5.72 |

Huit mesures acoustiques présentent des différences significatives en fonction du stade de la maladie considéré. Tout d'abord, la durée totale des productions augmente significativement avec l'aggravation de la maladie ($U = 3715.00$, $p = .018$), tout comme l'EIS minimum ($U = 3613.00$, $p = .040$), la médiane de l'EIS ($U = 4536.00$, $p < .001$) et la moyenne de l'EIS ($U = 4133.00$, $p < .001$). Une augmentation significative est également observée pour la durée totale des pauses ($U = 3604.50$, $p = .043$) et la durée moyenne des pauses ($U = 3784.4$, $p = 0.010$).

Concernant le rythme de parole, deux mesures reflètent un ralentissement significatif avec l'évolution de la maladie : le débit de parole ($U = 1764.00$, $p < .001$) et le débit articulatoire ($t = 3.619$, $p < .001$).

Enfin, une tendance à la significativité est observée pour l'écart interquartile de l'EIS ($U = 3868.00$, $p = .050$), suggérant une variabilité rythmique possiblement accrue avec l'avancée de la maladie.

Afin de faciliter la comparaison visuelle des résultats significatifs, les valeurs des huit mesures présentant une différence significative (et le score limite) entre les stades ont été transformées en Z-scores. Cette standardisation a permis de représenter sur un même graphique des mesures exprimées sur des échelles

différentes (Figure 4). D'une manière générale, on observe une grande variabilité inter-individuelle.

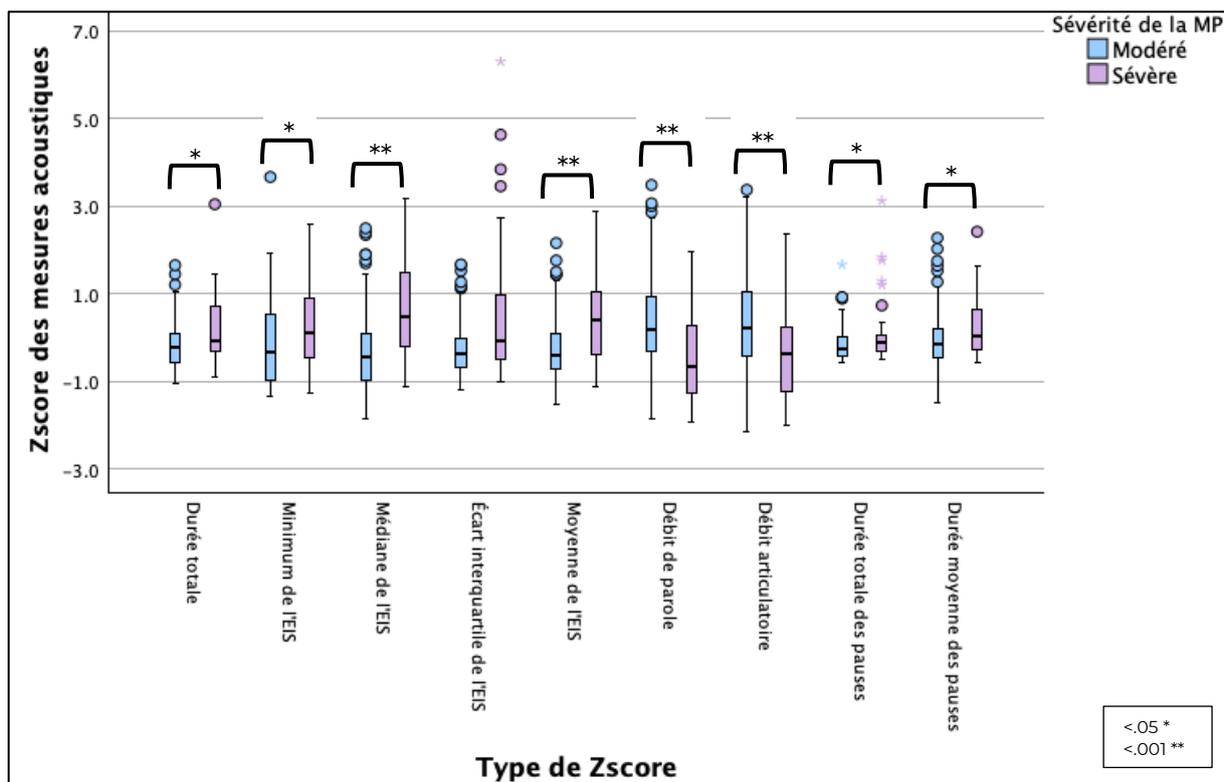


Figure 4. Effet du stade de la MP sur les différentes mesures acoustiques significatives (M-W)

Aucune différence significative n'a été observée pour l'écart intersyllabique maximum, le débit global ou le nombre de pauses (toutes $p > .05$). Les résultats complets sont présentés dans le Tableau 6.

Tableau 5. Effet du stade de la MP sur les mesures temporelles analysées

| Mesures | Valeur de la statistique | Effet stade MP |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------|
| Durée totale (s) | U = 3715 | S (.018) |
| EIS minimum (s) | U = 3613 | S (.04) |
| EIS maximum (s) | U = 3489 | NS (.095) |
| Médiane de l'EIS (s) | U = 4536 | S (<.001) |
| Écart interquartile de l'EIS (s) | U = 3868 | S (.05) |
| Moyenne de l'EIS (s) | U = 4133 | S (<.001) |
| Écart-type de l'EIS (s) | U = 3382.5 | NS (.179) |
| Débit de parole (phonème/s) | U = 1764 | S (<.001) |
| Débit articuloire (phonème/s) | T = 3.619 | S (<.001) |
| Nombre de pause | U = 3542.5 | NS (.064) |
| Durée moyenne des énoncés (s) | U = 3194.5 | NS (.443) |
| Durée totale des pauses (s) | U = 3604.5 | S (.043) |
| Durée moyenne des pauses (s) | U = 3784.5 | S (.010) |

IV - Effet de la sévérité de la dysarthrie sur la dynamique temporelle de la production orale

Des comparaisons statistiques ont été réalisées entre les trois sous-groupes définis selon le niveau de sévérité de la dysarthrie (léger (N= 14), modéré (N= 10), sévère (N= 4)), sur l'ensemble des mesures temporelles extraites du module de lecture. Les données relatives à la sévérité de la dysarthrie n'étant pas disponibles pour l'ensemble des patients MP, les analyses portent ici sur 28 des 40 sujets MP (Tableau 6).

Tableau 6. Répartition et âge (moyenne et écart-type) des sujets MP selon la sévérité de la dysarthrie et le sexe

| Sévérité de la dysarthrie | Sexe | N | Moyenne de l'âge (ans) | Écart-type de l'âge (ans) |
|---------------------------|-------|----|------------------------|---------------------------|
| Légère | Femme | 5 | 67.60 | 7.834 |
| | Homme | 9 | 68.22 | 4.766 |
| | Total | 14 | 68.00 | 6.02 |
| Modérée | Femme | 5 | 67.00 | 3.566 |
| | Homme | 5 | 72.20 | 5.450 |
| | Total | 10 | 69.60 | 5.27 |
| Sévère | Femme | 2 | 67.50 | 5.680 |
| | Homme | 2 | 72.00 | 2.066 |
| | Total | 4 | 69.75 | 4.79 |
| Total | Femme | 12 | 67.33 | 5.966 |
| | Homme | 16 | 69.94 | 5.113 |
| | Total | 28 | 68.82 | 5.632 |

Concernant les mesures de fluence, une augmentation significative a été observée pour la durée moyenne des énoncés avec l'évolution de la sévérité de la dysarthrie ($H = 29.668$, $p < .001$). Ainsi, des différences importantes entre les sous-groupes de patients présentant une dysarthrie « légère » et « sévère » ($Z = -5.213$, $p < .001$) et entre les sous-groupes présentant une dysarthrie « modérée » et « sévère » ($Z = -4.938$, $p < .001$), ont été mises en évidence. La durée totale des pauses ($H = 6.662$, $p = .036$) montre également une augmentation significative entre les niveaux « léger » et « sévère » ($Z = -2.561$, $p = .021$), de même que la durée moyenne des pauses ($H = 7.769$, $p = .021$), avec un contraste significatif entre « léger » et « sévère » ($Z = -2.761$, $p = .017$).

Des différences sont par ailleurs observées pour plusieurs mesures de l'EIS, notamment l'écart-type de l'EIS ($H = 11.665$, $p = .003$), avec une augmentation significative entre les sous-groupes « léger » et « sévère » ($Z = -3.380$, $p = .002$) et « modéré » et « sévère » ($Z = -2.847$, $p = .013$). De plus, l'écart interquartile de l'EIS ($H = 8.040$, $p = .018$) montre un accroissement significatif entre les niveaux « léger » et « sévère » ($Z = -2.804$, $p = .015$). Aussi, l'écart interquartile de l'EIS ($H = 10.704$, $p = .005$) se révèle significatif avec une augmentation significative entre les sous-groupes « léger » et « sévère » ($Z = -3.266$, $p = .003$) ainsi que « modéré » et

« sévère » ($Z = -2.560$, $p = .031$). Ces résultats indiquent une augmentation de l'irrégularité rythmique dans les formes sévères de la dysarthrie.

Les valeurs des six mesures présentant une différence significative entre les stades ont été transformées en Z-scores afin d'en faciliter leur comparaison, permettant ainsi de représenter sur un même graphique des mesures exprimées sur des échelles différentes (Figure 5).

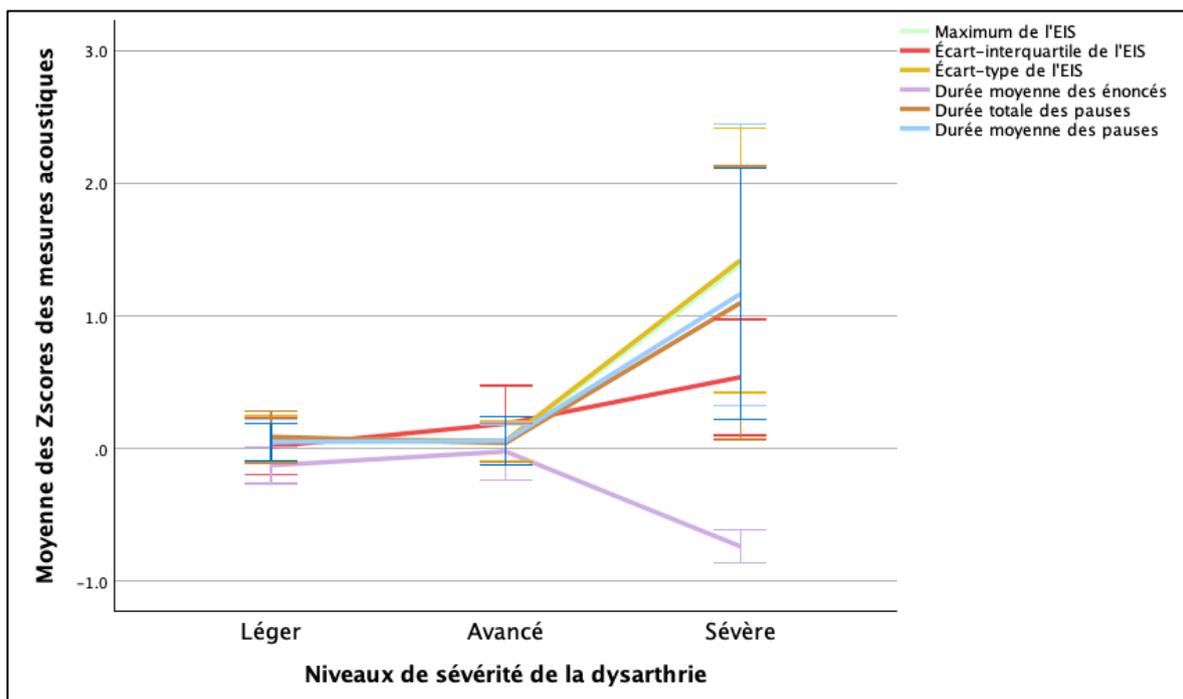


Figure 5. Effet de la sévérité de la dysarthrie sur les différentes mesures acoustiques significatives (K-W)

Aucune différence significative n'a été relevée pour la durée totale, la médiane de l'EIS, le minimum de l'EIS le débit de parole, le débit articulatoire ou le nombre de pauses (toutes $p > .05$). Par ailleurs, aucune mesure analysée ne permet de distinguer significativement les sous-groupes « léger » et « modéré ». Les résultats détaillés sont présentés dans le Tableau 7 et 8.

Tableau 7. Effet de la sévérité de la dysarthrie sur les mesures acoustiques temporelles analysées

| Mesures | Valeur de la statistique | Effet sévérité dysarthrie |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Durée totale (s) | H = 3.42 | NS (.181) |
| EIS minimum (s) | H = 3.048 | NS (.218) |
| EIS maximum (s) | H = 10.704 | S (.005) |
| Médiane de l'EIS (s) | H = 1.747 | NS (.417) |
| Écart interquartile de l'EIS (s) | H = 8.040 | S (.018) |
| Moyenne de l'EIS (s) | H = 4.213 | NS (.122) |
| Écart-type de l'EIS (s) | H = 11.665 | S (.003) |
| Débit de parole (phonème/s) | H = 5.550 | NS (.062) |
| Débit articulatoire (phonème/s) | H = 1.944 | NS (.378) |

| | | |
|-------------------------------|------------|---------------------|
| Nombre de pause | H = 1.641 | NS (.440) |
| Durée moyenne des énoncés (s) | H = 29.668 | S (<.001) |
| Durée totale des pauses (s) | H = 6.662 | S (.036) |
| Durée moyenne des pauses (s) | H = 7.769 | S (.021) |

Tableau 8. Effet deux à deux des niveaux de la sévérité de la dysarthrie sur les mesures temporelles analysées (tests post-hoc)

| Mesures | Léger/modéré | Léger/sévère | modéré/sévère |
|-------------------------------------|-------------------------------|---|---|
| Durée totale (s) | NS (Z = -1.09 ; p = .827) | NS (Z = -1.755 ; p = .238) | NS (Z = -.918 ; p = 1.000) |
| EIS minimum (s) | NS (Z = .960 ; p = 1.000) | NS (Z = 1.681 ; p = .278) | NS (Z = .940 ; p = 1.000) |
| EIS maximum (s) | NS (Z = -.815 ; p = 1.000) | S (Z = -3.266 ; p = .003) | S (Z = -2.560 ; p = .031) |
| Médiane de l'EIS (s) | NS (Z = -.676 ; p = 1.000) | NS (Z = .876 ; p = 1.000) | NS (Z = 1.313 ; p = .568) |
| Écart interquartile de l'EIS (s) | NS (-1.255 ; p = .626) | S (Z = -2.804 ; p = .015) | NS (-1.809 ; p = .211) |
| Moyenne de l'EIS (s) | NS (-1.142 ; p = .747) | NS (-1.969 ; p = .147) | NS (-1.080 ; p = .840) |
| Écart-type de l'EIS (s) | NS (Z = -.560 ; p = 1.000) | S (Z = -3.380 ; p = .002) | S (Z = -2.847 ; p = .013) |
| Débit de parole (phonème/s) | NS (1.441 ; p = .449) | NS (2.214 ; p = .081) | NS (1.113 ; p = .797) |
| Débit articulatoire (phonème/s) | NS (1.212 ; p = .677) | NS (-.288 ; p = 1.000) | NS (-1.124 ; p = .783) |
| Nombre de pause | NS (-.046 ; p = 1.000) | NS (-1.234 ; p = .652) | NS (-1.150 ; p = .751) |
| Durée moyenne des énoncés (s) | NS (.082 ; p = 1.000) | S (Z = 5.213 ; p < .0001) | S (Z = 4.938 ; p < .0001) |
| Durée totale des pauses (s) | NS (-.475 ; p = 1.000) | S (Z = -2.561 ; p = .031) | NS (-2.122 ; p = .102) |
| Durée moyenne des pauses (s) | NS (-.477 ; p = 1.000) | S (Z = -2.761 ; p = .017) | NS (-2.312 ; p = .062) |

Discussion

I - Interprétation des résultats

A - Effet de la MP sur la dynamique temporelle de la production orale

Les résultats de cette étude montrent que certaines mesures temporelles permettent de différencier de manière significative les locuteurs atteints de la MP des sujets contrôles. Plus précisément, le maximum, la médiane et l'écart-type de l'EIS, ainsi que la durée moyenne des énoncés, présentent des différences robustes entre les groupes. Ces paramètres apparaissent donc comme des marqueurs potentiels pour détecter les altérations temporelles associées à la dysarthrie hypokinétique parkinsonienne, en tenant compte du fait qu'ils ne constituent pas des marqueurs isolés et donc doivent être interprétés dans un faisceau d'indices acoustiques.

Ces résultats suggèrent que les locuteurs atteints de MP présentent une variabilité rythmique accrue (maximum, médiane et écart-type de l'EIS) et un allongement relatif des unités de parole (durée moyenne des énoncés), traduisant un ralentissement de l'articulation et une moindre régularité temporelle entre syllabes. Ces observations rejoignent celles de Ruzs et al. (2021), qui décrivent une organisation temporelle moins fluide, caractérisée par des irrégularités intersyllabiques pouvant perturber la perception globale du rythme et de la cohésion du discours. Les résultats obtenus sont également cohérents avec les profils déjà décrits dans la dysarthrie hypokinétique (Duffy, 2019), et viennent appuyer plusieurs observations de Kovac et al. (2024) qui soulignaient que ces mesures et en particulier celles liées aux pauses et aux irrégularités rythmiques peuvent alimenter des systèmes de classification automatique efficaces pour détecter la parole parkinsonienne.

En revanche, d'autres paramètres tels que la durée totale de la production orale ou le nombre de pauses ne présentent pas de différences significatives entre les groupes. Cela montre que toutes les mesures acoustiques temporelles n'ont pas la même sensibilité pour capturer les altérations spécifiques à la MP. Certaines mesures globales, comme la durée totale ou le nombre de pauses, peuvent être influencées par des facteurs liés aux types de tâche ou à la durée du protocole complet, et se révèlent moins discriminantes (Kovac et al., 2024). À l'inverse, des mesures plus spécifiques, comme la durée des énoncés ou la variabilité rythmique entre syllabes, semblent mieux refléter les perturbations fines du rythme de la parole dans la MP (Ruzs et al., 2021).

B - Effet du stade de la MP sur la dynamique temporelle de la production orale

Les analyses menées sur le sous-groupe de 27 patients MP montrent que le stade de la maladie influence significativement plusieurs paramètres temporels. Des différences notables émergent entre les stades « modéré » et « sévère », touchant la durée totale de la production, plusieurs caractéristiques statistiques de la

distribution de l'EIS (minimum, moyenne, médiane et écart interquartile), ainsi que les débits de parole et d'articulation. La durée totale et la durée moyenne des pauses distinguent également ces deux stades.

Dans notre sous-échantillon, le stade « sévère » se caractérise ainsi par un allongement des durées (durée totale, durée moyenne des pauses) et une augmentation des irrégularités rythmiques (médiane, moyenne et écart interquartile de l'EIS), ainsi que par une diminution des débits (débit de parole et débit articulatoire). Ce profil est cohérent avec l'idée que la progression de la MP s'exprime, au plan temporel, par des pauses plus longues et une variabilité intersyllabique accrue, témoignant d'un contrôle moteur de la parole plus coûteux et moins stable (Moro-Velázquez et al., 2021).

Les revues récentes montrent que, lorsque la maladie progresse, les mesures temporelles (vitesse d'articulation, rythme, pauses) figurent parmi les plus sensibles aux changements, même si leur dynamique n'est pas strictement linéaire dans le temps (Wright & Aharonson, 2025). Des études focalisées sur la fluence rapportent également une augmentation des pauses silencieuses et une réduction des débits avec l'avancement du trouble, ce qui rejoint nos résultats sur la durée totale et moyenne des pauses (García et al., 2023). Sur le plan neurophysiologique, la progression de la MP s'accompagne d'atteintes croissantes des boucles fronto-striato-thalamo-corticales, essentielles à la programmation et à la séquence des mouvements. Ces altérations contribuent aux perturbations du rythme et de la fluence observées aux stades avancés de la maladie (Rektorová et al., 2016).

En somme, les données de notre échantillon s'alignent avec la littérature récente : les stades sévères se caractérisent par des pauses plus longues, un rythme intersyllabique moins régulier et des débits plus faibles, ce qui reflète une moindre efficacité motrice de la parole (Moro-Velázquez et al., 2021 ; García et al., 2023). Enfin, des revues récentes rappellent que toutes les mesures ne progressent pas au même rythme et que certaines présentent des paliers ou des trajectoires hétérogènes selon la tâche et le profil des patients (Wright & Aharonson, 2025), ce qui encourage l'usage conjoint de plusieurs indices temporels pour suivre finement l'évolution clinique.

C - Effet de la sévérité de la dysarthrie sur la dynamique temporelle de la production orale

Les analyses portant sur l'effet de la sévérité de la dysarthrie (sous-groupe de 28 patients MP) ont révélé un effet significatif de la sévérité de la dysarthrie hypokinétique sur plusieurs mesures acoustiques temporelles. Des différences apparaissent principalement entre les degrés de sévérité « légers » et « sévères », ainsi qu'entre les degrés de sévérité « modérés » et « sévères », notamment pour la durée moyenne des énoncés, la durée totale et moyenne des pauses, ainsi que plusieurs mesures liées à l'irrégularité rythmique (écart interquartile, écart-type et maximum de l'EIS).

L'analyse acoustique indique ainsi que l'aggravation de la dysarthrie est associée à une augmentation marquée de la durée des pauses (durée totale et moyenne des pauses) et une diminution de la durée des énoncés (durée moyenne des énoncés) mais aussi à une irrégularité croissante du rythme syllabique (maximum, écart interquartile, et écart-type de l'EIS), particulièrement dans les formes sévères. Plusieurs mesures temporelles apparaissent donc sensibles aux variations de la sévérité du trouble. Ces résultats révèlent une désorganisation croissante de la temporalité du discours à mesure que la dysarthrie progresse.

Contrairement à ce qui est rapporté dans certaines études (Kovac et al., 2024; Wright & Aharonson, 2025), aucune différence significative n'a été observée ici pour les débits de parole et d'articulation en fonction de la sévérité. Cette divergence peut s'expliquer par des effets de compensation individuelle ou par l'hétérogénéité des stratégies articulatoires, comme suggéré dans des travaux montrant que certains patients conservent un débit stable en adoptant des stratégies rythmiques spécifiques (García et al., 2021; Moro-Velazquez et al., 2021). Le format contraint de la lecture de texte pourrait également limiter les fluctuations motrices, en sollicitant moins les ressources de planification du discours que des tâches plus spontanées (Rusz et al., 2021). Enfin, il convient de noter que la taille réduite et déséquilibrée des sous-groupes, en particulier le faible nombre de participants présentant une dysarthrie sévère (n = 4), ainsi que la variabilité potentielle liée à l'évaluation perceptive, peuvent avoir limité la détection de différences pour ces mesures.

Enfin, les résultats montrent des différences peu marquées entre les groupes avec des degrés de sévérité « légers » et « modérés », mais des contrastes nets entre les groupes avec des degrés de sévérité « légers » et « sévères » ou « modérés » et « sévères ». Cela suggère que l'évolution de la dysarthrie n'est pas linéaire, certaines altérations temporelles apparaissant de manière plus abrupte au-delà d'un certain seuil de sévérité (Kovac et al., 2024 ; Skodda et al., 2009). Il est toutefois important de rappeler que la sévérité de la dysarthrie n'évolue pas nécessairement en parallèle du stade global de la maladie : des patients à un stade avancé de la MP peuvent présenter une dysarthrie modérée, et inversement, en raison de différences interindividuelles dans la progression des atteintes motrices et de la parole (Kovac et al., 2024). Dans le présent échantillon, cette dissociation potentielle peut avoir été renforcée par l'hétérogénéité possible des évaluations perceptives et par le déséquilibre des effectifs entre sous-groupes. En effet, pour rappel, seulement quatre personnes présentaient une dysarthrie sévère.

II - Intérêts de l'étude

Cette étude s'inscrit dans une démarche de renforcement des outils pour l'évaluation objective des troubles de la parole dans la maladie de Parkinson, en complément des évaluations perceptives cliniques, encore largement majoritaires. Ces dernières, bien qu'essentielles, présentent une certaine variabilité interjuges (Enderby, 2011), ce qui limite leur fiabilité dans le suivi de la progression du trouble ou dans l'évaluation de l'effet des traitements. L'identification d'indices acoustiques sensibles, tels que la durée moyenne des

pauses, la variabilité intersyllabique ou encore le débit articulatoire, au travers d'une tâche de lecture standardisée, permet d'envisager une évaluation plus reproductible et potentiellement automatisable.

Les mesures mises en évidence ici présentent un intérêt clinique concret : elles sont extraites à partir d'une tâche simple (lecture de texte) ne nécessitant pas de matériel coûteux, ce qui en facilite l'application dans des contextes cliniques variés, y compris à ressources limitées. En ce sens, elle offre une modalité d'évaluation alliant reproductibilité et facilité d'application en contexte clinique.

L'étude met également en évidence la pertinence de combiner différents types de mesures temporelles afin d'améliorer la caractérisation des profils dysarthriques. Cette approche intégrée répond aux recommandations récentes en orthophonie et en neuropsycholinguistique, qui encouragent le recours à des indicateurs multimodaux pour documenter plus finement les altérations de la parole dans les troubles neurologiques (Kovac et al., 2024; Wright & Aharonson, 2025).

Enfin, l'identification de mesures sensibles à l'évolution du trouble ouvre des perspectives intéressantes pour le suivi longitudinal des patients. En objectivant les changements de performance au fil du temps, ces mesures pourraient contribuer à mieux adapter les prises en charge thérapeutiques et à détecter précocement des aggravations. Ces mesures acoustiques s'intègrent pleinement dans une logique de prévention secondaire, en lien avec les enjeux de qualité de vie, d'autonomie et de participation sociale des personnes atteintes de la MP. Les troubles vocaux peuvent fortement limiter les interactions sociales et accroître l'isolement (Wright & Aharonson, 2025), ce qui souligne l'importance d'une évaluation spécifique et précoce. Cette approche est d'autant plus pertinente que la dysarthrie hypokinétique, fréquente dans la MP, compromet directement les capacités de communication (Kovac et al., 2024).

III - Limites et perspectives

Plusieurs limites doivent être prises en compte dans l'interprétation des résultats. D'abord, bien que les patients aient été répartis selon les stades de la MP (stade de Hoen & Yahr), ce classement a été réduit à deux groupes, aucun sujet au stade « léger » n'ayant été recruté. Ce choix visait à garantir une puissance statistique suffisante pour les analyses, mais il pourrait toutefois masquer des différences plus fines, notamment dans les stades intermédiaires de la maladie. De même, la catégorisation des niveaux de dysarthrie repose sur une évaluation perceptive effectuée par un orthophoniste de chaque site clinique, sans critère commun formel ni mesure d'accord inter-évaluateur. Ce caractère subjectif, inhérent à la pratique clinique, invite à une réflexion plus large sur la manière de définir, documenter et objectiver les niveaux de sévérité de la dysarthrie. Les recherches futures devront envisager une évaluation centralisée, avec des critères consensuels clairement établis et appliqués de façon homogène à l'ensemble des patients.

Il est également possible que certaines différences observées entre les groupes (MP/contrôles, stades de la MP, niveaux de sévérité de la dysarthrie) soient en partie influencées par des variations dans les performances cognitives ou l'état affectif des patients. En effet, des scores MoCA (Nasreddine et al., 2005) indiquant des troubles cognitifs légers à modérés chez certains participants, ainsi qu'un risque dépressif léger à modéré sur l'échelle BDI (Beck et al., 1988), pourraient avoir un impact sur la planification du discours, la concentration ou la dynamique de la parole, modulant ainsi les mesures temporelles observées.

Par ailleurs, d'un point de vue statistique, la distribution inégale des participants selon les niveaux de sévérité de la dysarthrie, et notamment le faible nombre de patients dans le groupe de dysarthrie sévère, constitue une limite importante. Cette difficulté de recrutement s'explique en partie par la nature du protocole : la tâche de lecture, bien que structurée et standardisée, demande un effort cognitivo-moteur conséquent, qui n'a pas pu être maintenu par tous les participants, en particulier dans les niveaux les plus avancés de dysarthrie.

En outre, la présente étude se limite à une seule tâche de production de parole (lecture de texte) et à des mesures acoustiques exclusivement temporelles. Ainsi, même si ce type de tâche rend l'extraction de mesures acoustiques pertinentes possible en assurant une bonne reproductibilité des données, les capacités communicatives des patients atteints de MP se manifestent aussi dans d'autres contextes de parole, susceptibles de faire émerger d'autres types de difficultés. Les travaux futurs viseront donc à élargir l'analyse à d'autres tâches de production orale du protocole MonPaGe (e.g., parole spontanée, diadococinésies ou répétition de pseudo-mots) et à intégrer d'autres dimensions acoustiques, telles que des mesures articulatoires (ex. formants) ou prosodiques (ex. variation de la fréquence fondamentale, dynamique d'intensité), en vue d'une évaluation plus multimodale.

L'étude présente par ailleurs un caractère transversal, ne permettant donc pas d'observer les trajectoires individuelles d'évolution. Un protocole longitudinal permettrait d'explorer plus finement les profils de progression, d'objectiver l'effet des traitements et de valider les indices identifiés ici comme potentiels marqueurs évolutifs.

Enfin, les résultats obtenus dans le cadre de la MP ne permettent pas de conclure sur la spécificité de ces mesures pour cette pathologie. Il demeure possible que certaines altérations observées soient partagées avec d'autres formes de dysarthries. Des études comparatives avec d'autres étiologies (notamment les dysarthries post-AVC) seront nécessaires pour déterminer la spécificité, la robustesse et la valeur discriminative des indices retenus.

IV - Conclusion

Cette étude visait à identifier des mesures acoustiques temporelles sensibles à la présence et à la sévérité de la dysarthrie hypokinétique dans la MP. En s'appuyant sur une tâche standardisée de lecture de texte, elle a permis de comparer les productions de 40 patients MP à celles de 20 sujets témoins, et d'examiner l'effet du stade de la maladie et du niveau de sévérité de la dysarthrie sur un ensemble de mesures acoustiques temporelles extraites automatiquement.

Les résultats montrent que certains paramètres, tels que la durée moyenne des énoncés, la variabilité intersyllabique ou encore la durée des pauses, permettent de différencier les groupes, mais aussi de suivre l'évolution du trouble selon différents degrés de sévérité. Ces indices apparaissent comme des marqueurs potentiels utiles pour l'évaluation clinique et le suivi longitudinal, en complément des outils perceptifs traditionnels.

En somme, cette étude contribue à la caractérisation objective des troubles moteurs de la parole dans la MP, et ouvre des perspectives concrètes pour une évaluation plus fine, reproductible et accessible en contexte clinique.

Références bibliographiques

- Arefyeva, A. P., Skripkina, N. A. & Vasenina, E. E. (2019) [Speech disorders in Parkinson's disease]. *Zhurnal Nevrologii I Psikiatrii Imeni S.S. Korsakova* 119(9. Vyp. 2), 23-36. <https://doi.org/10.17116/jnevro201911909232>.
- Armstrong, M. J., & Okun, M. S. (2020). Diagnosis and Treatment of Parkinson Disease : A Review. *JAMA*, 323(6), 548-560. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.22360>
- Ascherio, A., & Schwarzschild, M. A. (2016). The epidemiology of Parkinson's disease : Risk factors and prevention. *The Lancet Neurology*, 15(12), 1257-1272. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(16\)30230-7](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(16)30230-7)
- Atalar, M. S., Oguz, O., & Genc, G. (2023). Hypokinetic Dysarthria in Parkinson's Disease : A Narrative Review. *Sisli Etfal Hastanesi Tip Bulteni*, 57(2), 163-170. <https://doi.org/10.14744/SEMB.2023.29560>
- Auzou, P. (2021). Batterie d'évaluation clinique de la dysarthrie (BECD) [Manuel]. Ortho Édition. <https://www.orthoedition.com/evaluations/beckd-4256>
- Beck, A. T., Steer, R. A., & Garbin, M. G. (1988). Psychometric properties of the Beck Depression Inventory: Twenty-five years of evaluation. *Clinical Psychology Review*, 8(1), 77-100. [https://doi.org/10.1016/0272-7358\(88\)90050-5](https://doi.org/10.1016/0272-7358(88)90050-5)
- Berg, D., Borghammer, P., Fereshtehnejad, S.-M., Heinzl, S., Horsager, J., Schaeffer, E., & Postuma, R. B. (2021). Prodromal Parkinson disease subtypes—Key to understanding heterogeneity. *Nature Reviews Neurology*, 17(6), 349-361. <https://doi.org/10.1038/s41582-021-00486-9>
- Boersma, P., & Weenick, D. (2024). *Praat, doing phonetic by computer* (Version 6.4.19) [Logiciel]. <http://www.praat.org/>
- Braak, H., Del Tredici, K., Rüb, U., de Vos, R. A. I., Jansen Steur, E. N. H., & Braak, E. (2003). Staging of brain pathology related to sporadic Parkinson's disease. *Neurobiology of Aging*, 24(2), 197-211. [https://doi.org/10.1016/s0197-4580\(02\)00065-9](https://doi.org/10.1016/s0197-4580(02)00065-9)
- Dashtipour, K., Tafreshi, A., Lee, J., & Crawley, B. (2018). Speech disorders in Parkinson's disease : Pathophysiology, medical management and surgical approaches. *Neurodegenerative Disease Management*, 8(5), 337-348. <https://doi.org/10.2217/nmt-2018-0021>
- Duffy, J. R. (2019). *Motor speech disorders: Substrates, differential diagnosis, and management* (4e éd.). Elsevier Health Sciences. <https://shop.elsevier.com/books/motor-speech-disorders/duffy/978-0-323-53054-5>
- Enderby, P. (2011). The Frenchay Dysarthria Assessment. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 15, 165-173. <https://doi.org/10.3109/13682828009112541>

- Favaro, A., Moro-Velázquez, L., Butala, A., Motley, C., Cao, T., Stevens, R. D., Villalba, J., & Dehak, N. (2023). Multilingual evaluation of interpretable biomarkers to represent language and speech patterns in Parkinson's disease. *Frontiers in Neurology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1142642>
- Fougeron, C., Delvaux, V., Ménard, L., & Laganaro, M. (2018). The MonPaGe_HA database for the documentation of spoken French throughout adulthood. In N. Calzolari, K. Choukri, C. Cieri, T. Declerck, S. Goggi, K. Hasida, H. Isahara, B. Maegaard, J. Mariani, H. Mazo, A. Moreno, J. Odijk, S. Piperidis, & T. Tokunaga (Eds.), *Proceedings of the Eleventh International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2018)* (pp. 4252–4258). European Language Resources Association. <https://aclanthology.org/L18-1679>
- García, A. M., Arias-Vergara, T., C Vasquez-Correa, J., Nöth, E., Schuster, M., Welch, A. E., Bocanegra, Y., Baena, A., & Orozco-Arroyave, J. R. (2021). Cognitive Determinants of Dysarthria in Parkinson's Disease : An Automated Machine Learning Approach. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, 36(12), 2862-2873. <https://doi.org/10.1002/mds.28751>
- Ghio, A., Lalain, M., Defais, C., Brevet, A., Jayr, M., Duez, D., Rebourg, M., Fredouille, C., Woisard, V., & Viallet, F. (2024). *Évaluation de la dysarthrie parkinsonienne en lecture par la mesure de la déviation phonologique perçue : Effets de la sévérité et du traitement dopaminergique* (Communication n° 381). HAL-Inria. <https://inria.hal.science/hal-04623089>
- Goetz, C. G. (2010). Movement Disorder Society-Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS) : Une nouvelle échelle pour l'évaluation de la maladie de Parkinson. *Revue Neurologique*, 166(1), 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2009.09.001>
- Gómez, P., Mekyska, J., Gómez, A., Palacios, D., Rodellar, V., & Álvarez, A. (2019). Characterization of Parkinson's disease dysarthria in terms of speech articulation kinematics. *Biomedical Signal Processing and Control*, 52, 312-320. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2019.04.029>
- IBM Corp. (2023). IBM SPSS Statistics pour Macintosh (version 29.0.2.0) [logiciel]. Armonk, NY : IBM Corp.
- Jenkinson, C., Fitzpatrick, R., Peto, V., Greenhall, R., & Hyman, N. (1997). The Parkinson's Disease Questionnaire (PDQ-39): development and validation of a Parkinson's disease summary index score. *Age and ageing*, 26(5), 353–357. <https://doi.org/10.1093/ageing/26.5.353>
- Jacobson, B. H., Johnson, A., Grywalski, C., Silbergleit, A., Jacobson, G., Benninger, M. S., & Newman, C. W. (1997). The Voice Handicap Index (VHI): Development and validation. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 6(3), 66–70. <https://doi.org/10.1044/1058-0360.0603.66>

- Jerkić, L., Petrović-Lazić, M., & Vuković, M. (2021). Speech disorders in Parkinson's disease—Characteristics, assessment and treatment. *Medicinski pregled*, 74(3-4), 106-111.
- Kouli, A., Torsney, K. M., & Kuan, W.-L. (2018). Parkinson's disease: Etiology, neuropathology, and pathogenesis. In T. B. Stoker & J. C. Greenland (Eds.), *Parkinson's disease: Pathogenesis and clinical aspects* (Chap. 1). Codon Publications. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK536722/>
- Kovac, D., Mekyska, J., Aharonson, V., Harar, P., Galaz, Z., Rapcsak, S., Orozco- Arroyave, J. R., Brabenec, L., & Rektorova, I. (2024). Exploring digital speech biomarkers of hypokinetic dysarthria in a multilingual cohort. *Biomedical Signal Processing and Control*, 88, 105667. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.105667>
- Laganaro, M., Fougeron, C., Pernon, M., Levêque, N., Borel, S., Fournet, M., Catalano Chiuvé, S., Lopez, U., Trouville, R., Ménard, L., Burkhard, P. R., Assal, F., & Delvaux, V. (2021). Sensitivity and specificity of an acoustic- and perceptual-based tool for assessing motor speech disorders in French : The MonPaGe- screening protocol. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 35(11), 1060-1075. <https://doi.org/10.1080/02699206.2020.1865460>
- Leite Silva, A. B. R., Gonçalves de Oliveira, R. W., Diógenes, G. P., de Castro Aguiar, M. F., Sallem, C. C., Lima, M. P. P., de Albuquerque Filho, L. B., Peixoto de Medeiros, S. D., Penido de Mendonça, L. L., de Santiago Filho, P. C., Nones, D. P., da Silva Cardoso, P. M. M., Ribas, M. Z., Galvão, S. L., Gomes, G. F., Bezerra de Menezes, A. R., Dos Santos, N. L., Mororó, V. M., Duarte, F. S., & Dos Santos, J. C. C. (2023). Premotor, nonmotor and motor symptoms of Parkinson's Disease: A new clinical state of the art. *Ageing research reviews*, 84, 101834. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2022.101834>
- Lowit, A., Marchetti, A., Corson, S., & Kuschmann, A. (2018). Rhythmic performance in hypokinetic dysarthria : Relationship between reading, spontaneous speech and diadochokinetic tasks. *Journal of Communication Disorders*, 72, 26-39. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2018.02.005>
- Majerus, S., Wiot, N., & George, M. (2023). ANADYS : Un instrument d'évaluation rapide pour le diagnostic différentiel entre anarthrie et dysarthrie. *Revue Neurologique*, 179, S199. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2023.02.058>
- Menin-Sicard, A., & Sicard, E. (2022, janvier). *Le bilan de la dysarthrie assisté par VOCALAB et DIADOLAB*. HAL. <https://hal.science/hal-03546249>
- Morello, A. N. D. C., Beber, B. C., Fagundes, V. C., Cielo, C. A., & Rieder, C. R. M. (2020). Dysphonia and Dysarthria in People With Parkinson's Disease After Subthalamic Nucleus Deep Brain Stimulation : Effect of Frequency Modulation. *Journal of Voice*, 34(3), 477-484. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2018.10.012>
- Moro-Velazquez, Laureano, Jorge A. Gomez-Garcia, Julian D. Arias-Londoño, Najim Dehak, et Juan I. Godino-Llorente. « Advances in Parkinson's Disease detection and assessment using voice and speech: A review of the articulatory and

phonatory aspects ». *Biomedical Signal Processing and Control* 66 (1 avril 2021): 102418. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102418>.

Morris, H. R., Spillantini, M. G., Sue, C. M., & Williams-Gray, C. H. (2024). The pathogenesis of Parkinson's disease. *The Lancet*, 403(10423), 293-304.

[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(23\)01478-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)01478-2)

Moya-Galé, G., & Levy, E. S. (2019). Parkinson's disease-associated dysarthria : Prevalence, impact and management strategies. *Research and Reviews in Parkinsonism*, 9, 9-16. <https://doi.org/10.2147/JPRLS.S168090>

Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J. L., & Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(4), 695–699. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x>

Ngo, Q. C., Motin, M. A., Pah, N. D., Drotár, P., Kempster, P., & Kumar, D. (2022). Computerized analysis of speech and voice for Parkinson's disease : A systematic review. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 226, 107133. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.107133>

Pawlukowska, W., Szylińska, A., Kotłęga, D., Rotter, I., & Nowacki, P. (2018). Differences between Subjective and Objective Assessment of Speech Deficiency in Parkinson Disease. *Journal of voice : official journal of the Voice Foundation*, 32(6), 715–722. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2017.08.018>

Pernon, M., Lévêque, N., Delvaux, V., Assal, F., Borel, S., Féron, C., Trouville, R., & Laganaro, M. (2020). MonPaGe, un outil de screening francophone informatisé d'évaluation perceptive et acoustique des troubles moteurs de la parole (dysarthries, apraxie de la parole). *Rééducation Orthophonique*, 281, 171–197.

Piccaluga, M., Nespoulous, J. L., & Harmegnies, B. (2007). Disfluency surface markers and cognitive processing; the case of simultaneous interpreting. *Proc. of the 16th ICPHS*, 1317-1320.

Pinto, S., & Ghio, A. (2008). Troubles du contrôle moteur de la parole : Contribution de l'étude des dysarthries et dysphonies à la compréhension de la parole normale. *Revue Française De Linguistique Appliquée*, 13, 45-57. <https://doi.org/10.3917/RFLA.132.0045>

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(10), 800-810. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2010.07.005>

Pommée, T., Bouvier, L., Pinquier, J., Mauclair, J., Delvaux, V., Fougeron, C., Astésano, C., Martel-Sauvageau, V., Morsomme, D., Pinçon, P., Lalain, M., & Woisard, V. (2024). Le voyage d'Alice : Un texte standardisé pour l'évaluation de la parole et de la voix en

français. *Glossa, Revue de linguistique française*, 139(1).
<https://www.glossa.fr/index.php/glossa/article/view/1411>

Prajjwal, P., Flores Sanga, H. S., Acharya, K., Tango, T., John, J., Rodriguez, R. S. C., Dheyaa Marsool Marsool, M., Sulaimanov, M., Ahmed, A., & Hussin, O. A. (2023). Parkinson's disease updates : Addressing the pathophysiology, risk factors, genetics, diagnosis, along with the medical and surgical treatment. *Annals of Medicine and Surgery*, 85(10), 4887.
<https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000001142>

Ramig, L. O., Sapir, S., Countryman, S., Pawlas, A. A., O'Brien, C., Hoehn, M., & Thompson, L. L. (2001). Intensive voice treatment (LSVT®) for patients with Parkinson's disease: A 2 year follow up. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 71(4), 493-498. <https://doi.org/10.1136/jnnp.71.4.493>

Rektorova, I., Mekyska, J., Janousova, E., Kostalova, M., Eliasova, I., Mrackova, M., Berankova, D., Necasova, T., Smekal, Z., & Marecek, R. (2016). Speech prosody impairment predicts cognitive decline in Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders*, 29, 90-95. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2016.05.018>

Rueda, A., Vasquez, J., Urrego, D., Orozco, J. R., Krishnan, S., & Noeth, E. (2019). Feature representation of pathophysiology of Parkinsonian dysarthria. In Proceedings of the Interspeech 2019 Conference (pp. 4440–4444).
<https://doi.org/10.21437/Interspeech.2019-2490>

Rusz, J., Tykalova, T., Ramig, L. O., & Tripoliti, E. (2021). Guidelines for Speech Recording and Acoustic Analyses in Dysarthrias of Movement Disorders. *Movement Disorders*, 36(4), 803-814. <https://doi.org/10.1002/mds.28465>

San Segundo, E., & Hernández, J. (2021). A preliminary approach to the acoustic-perceptual characterization of dysarthria. In Proceedings of the 3rd International Symposium on Applied Phonetics (ISAPh 2021) (pp. 63–67).
<https://doi.org/10.21437/ISAPh.2021-11>

Schapira, A. H. V., Chaudhuri, K. R., & Jenner, P. (2017). Non-motor features of Parkinson disease. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(7), 435-450.
<https://doi.org/10.1038/nrn.2017.62>

Schrag, A., Horsfall, L., Walters, K., Noyce, A., & Petersen, I. (2015). Prediagnostic presentations of Parkinson's disease in primary care : A case-control study. *The Lancet Neurology*, 14(1), 57-64. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(14\)70287-X](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(14)70287-X)

Skodda, S., Rinsche, H., & Schlegel, U. (2009). Progression of dysprosody in Parkinson's disease over time—A longitudinal study. *Movement Disorders*, 24(5), 716-722.
<https://doi.org/10.1002/mds.22430>

Skodda, S., & Schlegel, U. (2008). Speech rate and rhythm in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 23(7), 985-992. <https://doi.org/10.1002/mds.21996>

- Skripkina, N. A., & Arefyeva, A. P. (2021). Speech Disorders in Parkinsonism. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 51(7), 850-855. <https://doi.org/10.1007/s11055-021-01143-w>
- Vásquez-Correa, J. C., Orozco-Arroyave, J. R., Bocklet, T., & Nöth, E. (2018). Towards an automatic evaluation of the dysarthria level of patients with Parkinson's disease. *Journal of Communication Disorders*, 76, 21-36. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2018.08.002>
- Viallet, F., & Teston, B. (2007). La dysarthrie dans la maladie de Parkinson. In P. Auzou (Éd.), *Les Dysarthries* (p. 169-174). SOLAL. <https://hal.science/hal-00242418>
- Walshe, M., Peach, R. K., & Miller, N. (2009). Dysarthria impact profile : Development of a scale to measure psychosocial effects. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 44(5), 693-715. <https://doi.org/10.1080/13682820802317536>
- Wang, M., Wen, Y., Mo, S., Yang, L., Chen, X., Luo, M., Yu, H., Xu, F., & Zou, X. (2022). Distinctive acoustic changes in speech in Parkinson's disease. *Computer Speech & Language*, 75, 101384. <https://doi.org/10.1016/j.csl.2022.101384>
- Wright, H., & Aharonson, V. (2025). Vocal Feature Changes for Monitoring Parkinson's Disease Progression-A Systematic Review. *Brain Sciences*, 15(3), 320. <https://doi.org/10.3390/brainsci15030320>
- Yamashita, K. Y., Bhoopatiraju, S., Silverglate, B. D., & Grossberg, G. T. (2023). Biomarkers in Parkinson's disease : A state of the art review. *Biomarkers in Neuropsychiatry*, 9, 100074. <https://doi.org/10.1016/j.bionps.2023.100074>

Annexes

Annexe 1. Informations anamnestiques collectées

| Type de données | Sous-type |
|-----------------------------------|--|
| (a) Informations générales | Date de naissance |
| | Sexe |
| | Latéralité |
| | Langues maternelles et parlées |
| (b) Maladie | Maladie |
| | Sous-type |
| | Stade |
| | Année de diagnostic |
| | Caractéristiques |
| | Traitements |
| | Comorbidités |
| (c) Dysarthrie | Sous-type |
| | Severité |
| (d) Autres informations | Stimulation intracrânienne profonde (DBS) ? (date) |
| | Suivi en orthophonie |

Annexe 2. Questionnaires administrés

| Patho / Test | MDS-UPDRS (Goetz, C. & al., 2008) | BDI (Beck, & Steer, 1988) | MoCa (Nasreddine et al., 2005) | VHI (Jacobson et al., 1997) | DIP (Walshe et al., 2009) | PDQ-39 (Jenkinson and al, 1997) |
|------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Contrôles | | X | X | X | | |
| MP | X | X | X | X | X | X |