

Correspondance :
Virginie.roland@umons.ac.be

Diagnostic précoce dans la maladie de Parkinson : identifications d'indicateurs pertinents à partir de l'évaluation de la dysarthrie

Noms des auteurs

Virginie Roland

*Psychologue, 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*

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*

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*

Bilel Touzani

Master en psychologie

Correspondance :

Bilel Touzani. Université de Mons

Place du parc, 18, 7000 Mons, Belgique

bilel.touzani@alumni.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

Résumé

Version française :

La maladie de Parkinson (MP) est une affection neurodégénérative complexe et multifactorielle. Plusieurs travaux ont mis en évidence que les altérations de la production motrice de la parole peuvent apparaître précocement dans le cours de la maladie, y compris dès la phase prodromique de la MP. Outre les symptômes moteurs connus, la MP s'accompagne également de manifestations non-motrices, parmi lesquelles des troubles sensoriels, végétatifs, cognitifs et psycho-comportementaux. Ces derniers, entre autres, en particulier les troubles de l'humeur, sont fréquemment observés dès les stades inauguraux de la MP (Chaudhuri et al., 2011). Les troubles dépressifs constituent notamment une comorbidité fréquente dans la MP (Conroy et al., 2020). De plus, la littérature montre que la présence de symptômes dépressifs exerce des effets mesurables sur la production de la parole, indépendamment de l'existence ou non d'une pathologie neurodégénérative (pour une revue, voir Almaghrabi et al., 2023). L'association précoce entre troubles dépressifs et altérations motrices de la parole dans la MP pourrait ainsi avoir un impact sur le pronostic évolutif de la maladie. Dans ce contexte, l'objectif de la présente étude est d'identifier des indices acoustiques susceptibles de constituer des marqueurs précoces de la dépression dans la MP.

Mots-clés

Maladie de Parkinson – Dysarthrie – Indicateurs acoustiques – Dépression – Diagnostic précoce

Early diagnosis of Parkinson's disease: identification of relevant indicators based on the dysarthria assessment

English version:

Parkinson's disease (PD) is a complex and multifactorial neurodegenerative disorder. Several studies have shown that alterations in motor speech production may emerge early in the course of the disease, including during the prodromal phase of PD. In addition to the well-known motor symptoms, PD is also associated with non-motor manifestations, including sensory, autonomic, cognitive, and psycho-behavioral disturbances. Among these, mood disorders are particularly frequent and can be observed from the earliest stages of PD (Chaudhuri et al., 2011). Depressive disorders, in particular, represent a common comorbidity in PD (Conroy et al., 2020). Furthermore, the literature indicates that the presence of depressive symptoms has measurable effects on speech production, regardless of whether or not a neurodegenerative condition such as PD is present (for a review, see Almaghrabi et al., 2023). The early co-occurrence of depressive symptoms and motor speech impairments in PD may therefore influence the prognostic trajectory of the disease. In this context, the aim of the present study is to identify acoustic markers that may serve as early indicators of depression in PD.

Keywords

Parkinson's Disease – Dysarthria – Acoustic markers – Depression – Early diagnosis

Introduction théorique

I - Maladie de Parkinson

A - Etiologie et physiopathologie

La maladie de Parkinson (MP) est une affection caractérisée par une dégénérescence du système nerveux, touchant en particulier les structures impliquées dans le contrôle moteur. Elle se manifeste par une perte progressive des neurones dopaminergiques. Même si la cause d'apparition de la majorité des cas identifiés reste sporadique et multifactorielle (Ozsancak & Auzou, 2005), plusieurs pistes explicatives sont identifiées, telles que celles génétiques et environnementales (Kalia & Lang, 2015).

Grâce aux travaux de Braak et collaborateurs (2003), il est aujourd'hui reconnu que la MP présente une physiopathologie diffuse touchant les voies motrices ainsi que d'autres voies impliquant des atteintes non-motrices. En effet, la progression temporelle et spatiale mise en évidence dans son modèle semble expliquer l'évolution clinique de la MP (Kalia & Lang, 2015).

Par ailleurs, l'un des principaux facteurs de risque identifiés est l'âge. Ainsi, avec le vieillissement de la population mondiale, la détection précoce des marqueurs caractéristiques de la maladie constitue un enjeu majeur de santé publique. Comme le soulignent Agüera-Ortiz et al. (2021), les maladies neurodégénératives représentent par ailleurs une charge croissante pour les systèmes de santé et pour l'économie à l'échelle mondiale.

B - Symptômes caractéristiques de la MP

Même si la maladie se caractérise par des situations cliniques particulièrement hétérogènes, rendant encore complexe l'établissement d'un diagnostic univoque (Postuma et al., 2015), la MP se caractérise par un large éventail de symptômes moteurs et non moteurs qui conduisent à son diagnostic. Actuellement, ce dernier repose principalement sur l'identification de signes cliniques par un spécialiste, le plus souvent un neurologue, s'appuyant sur les critères établis par la UK Parkinson's Disease Society Brain Bank (UKPDSBB).

1 - Symptômes moteurs

Les symptômes moteurs associés à la MP incluent la bradykinésie, souvent accompagnée de tremblements de repos, de rigidité et/ou d'instabilité posturale (Armstrong & Okun, 2020 ; Kouli et al., 2018). Ces manifestations cliniques, apparaissant dans un premier temps de manière unilatérale, peuvent avoir un impact significatif sur la qualité de vie des patients, en particulier dans les phases où la réponse aux traitements dopaminergiques s'amoindrit, certains symptômes moteurs devenant résistants à la dopamine et entraînant l'apparition de fluctuations motrices plus ou moins fréquentes (Armstrong & Okun, 2020 ; Schapira et al., 2017).

La bradykinésie se caractérise par un ralentissement marqué de l'exécution des mouvements ainsi qu'une altération de leur rythmicité. Ce ralentissement progressif affecte l'ensemble des membres et entraîne des difficultés fonctionnelles notables. Sur le plan moteur, cette lenteur contribue également à l'apparition de la dysarthrie, fréquemment observée chez les patients atteints de MP (Bonnet, 2001) (aspects qui seront abordés dans les sections suivantes).

Compte tenu de l'hétérogénéité des manifestations motrices de la MP, deux sous-types cliniques sont parfois distingués, bien que cette classification ne fasse pas consensus : la forme à prédominance tremblante, caractérisée par la présence dominante de tremblements de repos, et la forme à prédominance non tremblante, marquée par des symptômes akinéto-rigides et une instabilité posturale. Un troisième sous-type est également décrit, correspondant à un phénotype mixte ou indéterminé, dans lequel les symptômes moteurs présentent une sévérité comparable (Kalia & Lang, 2015). La présence de l'une ou l'autre de ces formes pourrait également être évocatrice de la présence et de la sévérité d'autres troubles caractéristiques de la MP, tels que les troubles moteurs de la parole.

2 - Troubles moteurs de la parole

Parmi les symptômes moteurs présents dans la MP, la dysarthrie occupe une place importante, puisqu'elle regroupe un ensemble de troubles de l'exécution motrice de la parole fréquemment observés dans la MP (Sapir, 2014 ; Postuma et al., 2015). La dysarthrie se définit comme un terme générique désignant un ensemble de troubles neurologiques de la parole résultant d'anomalies de la force, de la vitesse, de l'amplitude, de la régularité, du tonus ou de la précision des mouvements nécessaires au contrôle des aspects respiratoires, résonantiels, articulatoires et prosodiques de la production de la parole. Les études perceptives et acoustiques classiques ont montré à de multiples reprises que la dysarthrie affecte les dimensions respiratoires, phonatoires et/ou articulatoires de la parole, aussi bien au niveau segmental que suprasegmental, notamment à travers des altérations prosodiques (Duffy, 2019).

Fréquemment considérée comme hypokinétique dans la MP, la dysarthrie dans la MP se caractérise par une diminution de l'amplitude et de la précision des gestes nécessaires à la parole dans les sphères respiratoire, laryngée et supra-laryngée, et se manifeste ainsi par une voix de faible intensité et peu variable (monotone, monocorde), une imprécision articulatoire, des troubles de la fluence (débit de parole réduit et haché ou encore présence de pauses inappropriées), et une dysprosodie (pour une revue, voir Duffy et al., 2019). Les relations entre MP et troubles dysarthriques ne sont pas bi-univoques : tous les patients atteints de la MP ne développent pas nécessairement une dysarthrie, la présence et la sévérité de la dysarthrie peuvent différer d'un patient à l'autre et évoluer à un autre rythme que la progression de la maladie (Dias et al., 2016 ; Karan et al., 2022). Plusieurs travaux ont également mis en évidence que les altérations de la production motrice de la parole dans la MP peuvent apparaître dès les phases très précoces de la maladie, y compris au stade prodromique.

De nombreuses études se sont intéressées à ces troubles vocaux et à leurs conséquences potentielles sur la vie quotidienne des personnes atteintes de MP. Il est ainsi estimé que 70 à 90 % des patients développeront une dysarthrie au cours de l'évolution de la maladie (Hartelius & Svensson, 1994 ; Guimaeres et al., 2017 ; Miller et al., 2006), avec des répercussions possibles sur la communication. L'évaluation de ces troubles peut être réalisée de manière objective, à l'aide de mesures acoustiques et aérodynamiques, mais elle l'est réalisée le plus fréquemment de façon subjective, à travers des échelles d'évaluation perceptive. Ce type de données subjectives permet d'aborder la dysarthrie dans une perspective fonctionnelle, en cohérence avec le cadre proposé par la Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF) mais peut présenter des limites en termes de reproductibilité et de fiabilité inter-juges.

3 - Symptômes non-moteurs

Les symptômes non moteurs comprennent des troubles du sommeil (insomnie, somnolence, RBD : Rem-sleep Behavior Disorder), une hyposmie, des altérations cognitives (mémoire, attention, fonctions exécutives et visuospatiales) et des troubles psycho-comportementaux (Aubignat et al., 2021 ; Azulay et al., 2017 ; Lepage, 2012 ; Pfeiffer, 2016 ;

Tolosa et al., 2006). Parfois sous-estimés, les symptômes non moteurs, en particulier les symptômes dépressifs et les troubles anxieux, peuvent avoir un impact significatif sur la qualité de vie des patients atteints de la maladie de Parkinson (pour une revue, voir Heimrich et al., 2023) et sont par ailleurs évoqués dès la phase prodromique de la maladie (Berg et al., 2015).

C - Dépression dans la MP

Comme souligné supra, la dépression constitue l'un des symptômes non moteurs les plus fréquents dans la MP, et son impact sur l'évolution de la pathologie est majeur en raison de sa complexité clinique et étiologique (Angelopoulou et al., 2023). Même s'il apparaît que des symptômes dépressifs se manifestent consécutivement à l'annonce de la maladie et à l'avancée des troubles associés, plusieurs travaux ont montré qu'une proportion significative de patients présente des symptômes dépressifs avant l'apparition clinique des signes moteurs, ce qui suggère que ces manifestations ne relèvent pas uniquement et systématiquement de réactions psychologiques face au diagnostic et à la conscientisation d'incapacités motrices (Kazmi et al., 2021). Dans cette perspective, la dépression est envisagée comme un signe prodromique possible de la MP (Pfeiffer, 2016). Toutefois, la distinction entre la dépression précédant le diagnostic et celle qui apparaît au cours de l'évolution de la maladie reste complexe, et aucun modèle pathophysiologique unifié de la dépression spécifique à la MP n'a encore été établi (Prange et al., 2022), ce qui questionne sur le possible diagnostic différentiel entre ces deux dimensions.

Sur le plan clinique, la prévalence de la dépression dans la MP concerne jusqu'à 50 % des patients atteints de la MP (Marsh, 2013 ; Reijnders et al., 2008). Malgré cette fréquence élevée, les troubles dépressifs demeurent largement sous-diagnostiqués et, lorsqu'ils sont identifiés, la prise en charge reste souvent insuffisante, et ce malgré l'existence de traitements efficaces et d'un potentiel de rétablissement (Marsh, 2013). En l'absence d'intervention adaptée, la dépression entraîne des répercussions dépassant les seules perturbations de l'humeur : aggravation des déficits moteurs et physiques, déclin cognitif accéléré, diminution de la qualité de vie, augmentation de la mortalité, ainsi qu'un fardeau accru pour les aidants (Marsh, 2013). L'évaluation clinique peut également être rendue complexe par le chevauchement symptomatique entre des symptômes dépressifs et certaines manifestations caractéristiques de la MP. Ainsi, des symptômes tels que la fatigue ou les troubles du sommeil, par exemple, sont fréquemment attribués à la maladie plutôt qu'à une comorbidité dépressive (Prange et al., 2022). À contrario, des caractéristiques motrices précoces comme l'amimie, le ralentissement psychomoteur ou certains symptômes non moteurs peuvent être interprétés à tort comme des signes dépressifs, conduisant à des erreurs et une errance diagnostique, voire thérapeutiques (Prange et al., 2022), en particulier chez des sujets âgés. Dès lors, le diagnostic de la dépression dans la MP peut s'avérer particulièrement complexe en raison du chevauchement symptomatique entre les deux affections.

En conclusion, la dépression et la MP semblent partager plusieurs manifestations cliniques, parmi lesquelles la fatigue, la perte d'énergie, le ralentissement psychomoteur, l'hypomimie, le déclin des fonctions cognitives, les troubles de la concentration, la diminution de l'appétit ainsi que les perturbations du sommeil (Laux, 2022).

D - Liens entre symptômes dépressifs et dysarthriques dans la MP

Comme évoqué supra, les symptômes dépressifs font partie des symptômes non-moteurs fréquemment développés par un grand nombre de patients atteints de la MP. Il a été montré que les troubles moteurs de la parole ainsi que les symptômes dépressifs produisent des effets négatifs sur les capacités de communication et les interactions sociales des individus (Perez-Toro et al., 2022). Dans certains cas, les symptômes dépressifs apparaissent

comme prédicteur majeur de la qualité de vie dans la MP, rendant le traitement de ces symptômes important pour les patients.

Or, la dépression exerce une influence directe sur la tension des muscles laryngés, induisant des altérations de la prosodie et de l'intensité vocale (Gumus et al., 2023). Ces modifications se traduisent notamment par une monotonie de la parole et une rugosité accrue de la voix, conséquences d'une hypertonie musculaire (Low et al., 2020). Cette monotonie est également associée à des perturbations de la fréquence fondamentale (F0), fréquemment réduite chez les patients dépressifs (Gumus et al., 2023 ; Menne et al., 2024), même s'il apparaît que des variations et une élévation de la F0 peut également être perçue en fonction de certaines caractéristiques, telle que la sévérité des symptômes dépressifs et psychomoteur. Une réduction du débit de parole est également observée en fonction du ralentissement psychomoteur présent chez les patients dépressifs (Menne et al., 2024).

Dès lors, certains auteurs, tel que Starkstein et Brockman (2017), soulignent que la mesure de l'efficacité des traitements, couplée avec des méthodes automatiques basées sur l'analyse de la parole et du langage peut aider à surveiller l'évolution des symptômes.

II - Objectifs de l'étude

Cette étude s'intègre dans un projet plus large dénommé Projet EVALDY, dont l'objectif est de contribuer à développer une méthode d'évaluation objective des troubles dysarthriques, et ce en complément des évaluations perceptuelles utilisées le plus souvent en contexte clinique.

Dans l'approche développée dans le cadre de cette étude, l'objectif est d'identifier des indices potentiellement pertinents et spécifiques aux symptômes dépressifs dans la MP afin de permettre de différencier, à partir de productions de parole, des patients atteints de la MP avec et sans symptômes dépressifs.

Méthodologie

I - Échantillon

A - Recrutement

Cette étude a nécessité le recrutement de deux groupes de personnes : d'une part, des personnes atteintes de la MP et dont le diagnostic avait été posé par un neurologue suivant les critères de l'UKPDSBB et d'autre part, des personnes sans pathologie ou antécédents médicaux pouvant avoir un impact sur la production de la parole afin d'assurer un rôle de groupe contrôle. L'ensemble des participants ne présentaient pas de troubles sensoriels non corrigés (auditifs ou visuels).

Au total, vingt personnes atteintes de la MP et vingt participants témoins ont été recrutés. L'ensemble des participants atteints de la MP rencontrés étaient sous traitement, que ce soit un traitement pharmacologique et/ou chirurgical. Aucune des données de parole recueillies ne l'a été dans une condition off. Le tableau 1 reprend les caractéristiques des participants des deux groupes

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

Groupe	Sexe	N	Moyenne d'âge (ans)	Écart-type (ans)
Contrôle	Femme	11	76.5	6.47
	Homme	9	74.0	9.58
	Total	20	75.3	8.08
MP	Femme	10	66.1	6.10
	Homme	10	72.1	4.86
	Total	20	69.1	6.19

B - Conditions de passation

Afin de s'assurer de la fiabilité des données recueillies, nous avons tenté de favoriser des conditions de passation les plus similaires possibles. Ainsi, les données recueillies auprès des personnes atteintes de la MP l'ont été en hôpital. Ces participants ont été rencontrés, pour la très grande majorité, durant des journées de bilans diagnostiques et thérapeutiques. Ce recueil, même s'il a eu lieu dans un milieu dit moins écologique – contexte hospitalier, nous a permis – grâce à l'obtention de l'accord éthique – l'accès à de nombreuses informations concernant l'histoire de la maladie (premiers symptômes, diagnostic) ainsi que l'accès aux différents bilans et évaluations réalisés, nous permettant dès lors d'éviter de multiplier les tâches de recueil de données. Les participants du groupe contrôle ont quant à eux été rencontrés à domicile.

II - Dispositions éthiques

Tous les participants, qu'ils fassent partie du groupe contrôle ou de celui des patients atteints de la MP, ont été informés de l'objet de notre étude par une lettre d'information. La signature d'un consentement éclairé, dans lequel l'autorisation d'enregistrement figurait, a également été demandée. Ce 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

Qui plus est, les patients atteints de la MP ayant été recrutés dans plusieurs hôpitaux belges, une évaluation concertée entre les comités d'éthique locaux des centres de collecte de données (CHU Tivoli, CHU Vésale – HELORA, Epicura, CHWAPI, CHU HELORA – Erasme ULB) et le comité d'éthique habilité à rendre un avis unique (Erasme-ULB) a été réalisé pour émettre l'avis unique concernant notre expérimentation. Un avis favorable nous a été délivré sous la référence P2024/440 ; CCB : B4062024000317. Une police d'assurance couvrant la responsabilité civile a également été souscrite au nom de l'Université de Mons dans le cadre d'une couverture des expérimentations cliniques sans acte positif (questionnaires psychologiques).

III - Matériel et méthodes

A - Protocole de parole

Les productions de parole analysées dans le cadre de cette étude ont été recueillies à partir du protocole informatisé MonPaGe-2.0.2-S (Fougeron et al., 2018 ; Pernon et al., 2020). MonPaGe est une batterie développée par un consortium francophone permettant l'évaluation standardisée des troubles moteurs de la parole. Le protocole est composé de douze modules distincts proposant le recueil de données dans différents contextes de production (hors et en contexte communicationnel), chaque tâche permettant de cibler une dimension spécifique de la production orale.

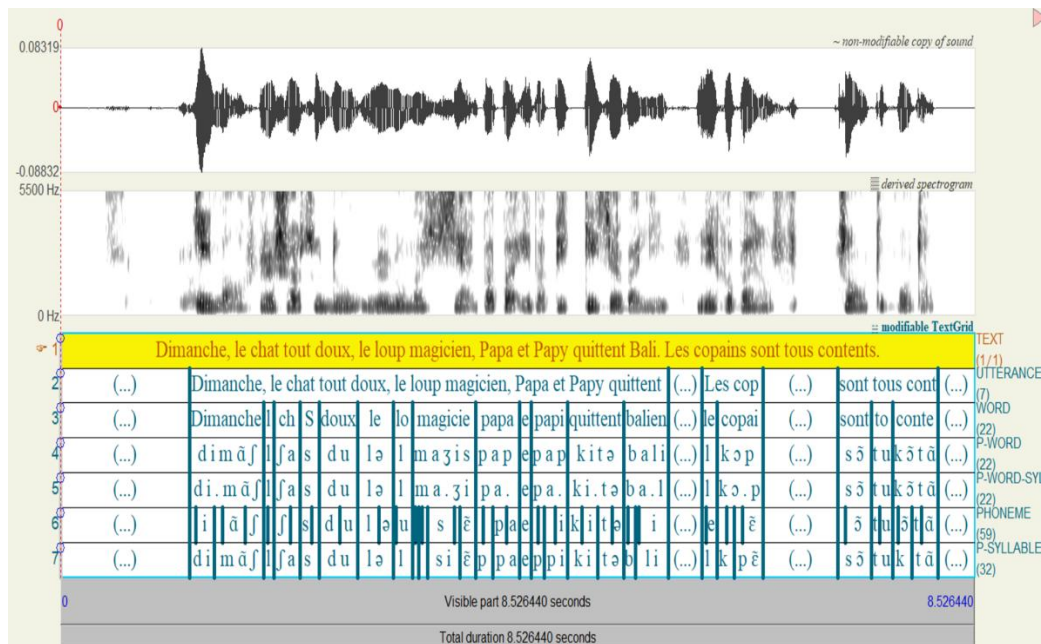
Chaque production orale a été enregistrée à l'aide d'un microphone Zoom H5 relié à un ordinateur équipé du logiciel MonPaGe-2.0.2-S.

Pour cette étude, une première tâche a été exploitée, celle de lecture. 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. Par la lecture continue d'un texte narratif composé de huit sections, le locuteur est amené à produire 188 mots, qu'il lit suite à un affichage successif à l'écran (Fougeron et al., 2018; Pernon et al., 2020). Exploiter cette tâche de lecture permet d'évaluer les participants dans un contexte de productions contrôlées, tout en conservant une activité fonctionnelle, en s'appuyant sur des stimuli calibrés et riches tant sur le plan linguistique et prosodique (Pommée et al., 2024).

B - Pré-traitement des données issues du protocole de parole

Les productions recueillies à partir de la tâche de lecture du protocole MonPaGe-2.0.2-S ont été pré-traitées afin de permettre ensuite l'extraction d'une diversité de mesures acoustiques. Ce pré-traitement a été effectué en trois étapes : organisation des données (1), alignement automatique des transcriptions (2), corrections manuelles des annotations découlant de l'étape (2).

L'étape (1) nous a permis de standardiser la présentation des fichiers audios afin de nous assurer de leur compatibilité avec les outils de traitement qui seront ensuite exploités. De ce fait, pour chaque participant, le texte lu a été séquencé en huit enregistrements distincts, correspondant chacun à la segmentation en huit sections de la lecture du texte. L'étape (2) a été réalisée à l'aide du service WebMAUS – Pipeline with ASR. Cette étape nous a permis de réaliser une transcription et un alignement temporel des transcriptions, générant des fichiers de type TextGrid compatibles avec le logiciel Praat. Les fichiers TextGrid obtenus en étape (2) ont ensuite été vérifiés manuellement afin de corriger les éventuelles erreurs d'alignement par rapport au signal audio. Des segmentations supplémentaires à celles fournies à l'aide du service WebMAUS sont venues compléter les fichiers, par l'ajout d'une segmentation en énoncés (identifiés comme des segments de parole distincts les uns des autres par des pauses supérieures ou égales à 250ms). Ces étapes ont permis d'harmoniser la segmentation (Figure 1) avant de réaliser les analyses acoustiques nous permettant d'extraire différentes mesures acoustiques.



Suite à ce pré-traitement des données, un script Praat, développé dans le cadre du projet EVALDY, a été utilisé afin de permettre le recueil de mesures acoustiques. Les données qui seront présentées dans la suite de cette étude portent ainsi sur l'extraction automatique de mesures temporelles sur la totalité de la production orale de chaque section lue par les participants.

C - Mesures temporelles

Treize mesures temporelles, extraites automatiquement à partir du script évoqué supra, ont été récoltées puis analysés pour chaque participant, sur chacun des huit enregistrements, ces enregistrements découlant des huit sections du texte lu à partir du module Texte du logiciel MonPaGe-2.0.2-S.

Les mesures sélectionnées permettent d'apprécier le débit, la fluence et la structuration temporelle de la parole (Tableau 2).

Tableau 2. Listing et description des différentes mesures acoustiques effectuées.

Mesures	Description 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.

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

D - Données relatives aux symptômes dépressifs

Les participants des deux groupes ont été invités à remplir l'inventaire de dépression de Beck (BDI-II) (Beck et al., 1996), et ce afin de questionner la piste d'une possible expression symptomatique d'allure dépressive auprès de nos participants. Même s'il n'a pas une visée diagnostique, le BDI-II permet, au travers de 21 items, d'offrir une estimation du degré de sévérité de dépression. La cotation permet ainsi d'estimer la sévérité des symptômes dépressifs selon le score obtenu. Les seuils d'interprétation sont les suivants :

- de 0 à 9 : absence de dépression à symptômes dépressifs mineurs ;
- de 10 à 18 : symptômes dépressifs légers ;
- de 19 à 29 : symptômes dépressifs modérés ;
- de 30 à 63 : symptômes dépressifs sévères.

Dans le cadre de cette étude, nous avons partitionné les participants de nos deux groupes en deux sous-groupes (tableau 2) : les participants ne présentant pas de symptômes dépressifs (score au BDI-II < 10) et les participants présentant des symptômes dépressifs (score au BDI-II ≥ 10).

Résultats

I - Procédures statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées sur l'ensemble des mesures recueillies à partir du logiciel SPSS (IBM SPSS Statistics 29.0.2.0), avec un seuil de significativité fixé à $p < .05$ (IBM Corp., 2023).

II - Scores au BDI-II

Au sein de nos deux groupes – contrôle et MP, nous pouvons constater une répartition des participants en fonction du fait qu'ils présentent ou non des symptômes dépressifs (seuil fixé à 10/63) (Tableau 3).

Notre groupe contrôle est composé de vingt participants, dont dix présentent des symptômes dépressifs légers (score maximum de 18) et dix ne présentent pas de symptômes dépressifs. Nous constatons que, dans le groupe MP, quatorze participants présentent des symptômes dépressifs, allant de légers à sévères.

Les statistiques descriptives réalisées mettent en évidence des scores moyens similaires pour les participants des groupes contrôle et MP avec un score inférieur à 10 au BDI-II (respectivement, scores moyens de 5,9 et 6), avec une variabilité légèrement accrue dans le groupe MP (E-T : 3,64). Pour les participants présentant des symptômes dépressifs, le score moyen est plus élevé dans le groupe MP (score moyen : 18), mais avec une variabilité accrue entre les participants (E-T : 9,15) (Figure 2). Une analyse plus individuelle des résultats nous permet d'identifier que dix des participants de ce groupe présentent des symptômes légers (scores compris entre 10 et 16) et que quatre participants présentent des scores témoignant de symptômes modérés à sévères (scores compris entre 26 et 33).

Tableau 3. Répartition des participants en fonction de leur score au BDI-II

Groupe	BDI-II (score)	N	Score min	Score max	Moyenne	Ecart-type
Contrôle	< 10	10	3	9	5,9	2,32
	≥ 10	10	11	18	14	2,47
	Total	20	3	18	9,95	4,71
MP	< 10	6	1	9	6	3,64
	≥ 10	14	10	33	18	9,15
	Total	20	1	33	14,4	9,15
TOTAL	< 10	16	1	9	5,92	2,66
	≥ 10	24	10	33	15,65	6,02
	Total	40	1	33	11,43	6,84

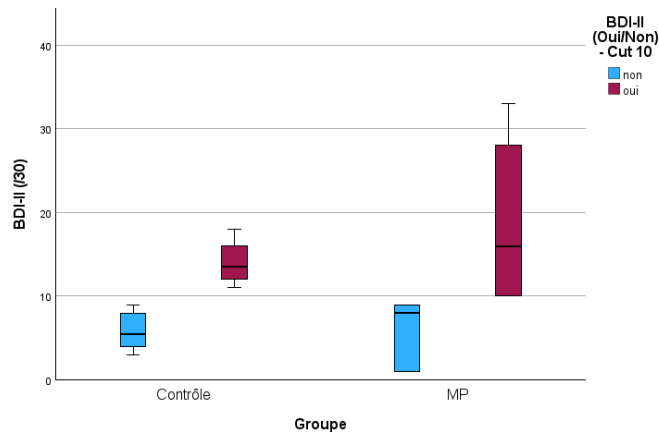


Figure 2. Répartition des scores au BDI-II en fonction du groupe (contrôle et MP) et du score-seuil au BDI-II (< 10 et ≥10)

III - Effet de la présence de symptômes dépressifs sur la dynamique temporelle de la production orale

Afin d'étudier les éventuelles altérations dans la dynamique temporelle en lien avec la présence de symptômes dépressifs, nous avons procédé à des analyses statistiques en trois phases sur l'ensemble des mesures temporelles issues de la tâche de lecture :

(a) nous avons tout d'abord comparé les productions des participants issus du groupe contrôle, en comparant les productions des personnes avec et sans symptômes dépressifs (à partir de la répartition présentée en tableau 3) ;

(b) nous avons ensuite comparé les productions des participants issus du groupe MP, en comparant les productions des personnes avec et sans symptômes dépressifs (à partir de la répartition présentée en tableau 3) ;

(c) nous avons enfin comparé les productions des participants en tenant compte de leur groupe (MP et contrôle) et de la présence ou non de symptômes dépressifs (< 10 et ≥ 10), nous permettant ainsi de comparer les productions des participants contrôles sans symptômes dépressifs, des participants contrôles avec symptômes dépressifs, des participants atteints de la MP sans symptômes dépressifs et des participants MP avec symptômes dépressifs.

A - Comparaison des productions des participants du groupe contrôle avec et sans symptômes dépressifs

La comparaison des productions des participants du groupe contrôle en fonction de la présence ou de l'absence de symptômes dépressifs n'a permis de mettre en évidence aucune différence significative, et ce quelle que soit la mesure temporelle considérée (tableau 4). Il ressort dès lors qu'aucune des mesures permettant d'apprécier la dynamique temporelle ne soit influencée par la présence de symptômes dépressifs chez les participants évalués à partir de la BDI-II.

Le tableau 4 reprend l'ensemble des résultats concernant les productions des participants du groupe contrôle, avec et sans symptômes dépressifs.

Tableau 4. Effet des symptômes dépressifs (< 10 et ≥ 10) sur les mesures temporelles analysées dans le groupe contrôle

Mesures	Valeur de la statistique	Effet symptômes dépressifs (groupe contrôle)
Durée totale (s)	U = 3394,5	NS ($p=.507$)
Durée moyenne des énoncés (s)	U = 3123,5	NS ($p=.794$)
Durée totale des pauses (s)	U = 3459,5	NS ($p=.376$)
Durée moyenne des pauses (s)	U = 3393,5	NS ($p=.509$)
Nombre de pauses (>250ms)	U = 3379,5	NS ($p=.537$)
Débit articulatoire (phonème/s)	U = 2933,5	NS ($p=.363$)
Débit de parole (phonème/s)	U = 2900	NS ($p=.306$)
EIS minimum (s)	U = 3067	NS ($p=.650$)
EIS maximum (s)	U = 3586,5	NS ($p=.187$)
Moyenne de l'EIS (s)	U = 3473,5	NS ($p=.351$)
Médiane de l'EIS (s)	U = 3585,5	NS ($p=.188$)
Écart-type de l'EIS (s)	U = 3420	NS ($p=.453$)
Écart interquartile de l'EIS (s)	U = 3368	NS ($p=.566$)

B - Comparaison des productions des participants du groupe MP avec et sans symptômes dépressifs

Contrairement à ce qu'il ressort de la comparaison dans le groupe contrôle, les comparaisons menées sur les productions du groupe MP permettent d'identifier plusieurs mesures acoustiques qui présentent des différences significatives en fonction de la présence ou non de symptômes dépressifs.

Ainsi, neuf mesures acoustiques présentent une différence significative en fonction de la variable relative aux symptômes dépressifs. Les participants avec symptômes dépressifs présentent une durée moyenne des énoncés plus longue que les participants atteints de la MP sans symptômes dépressifs. Ils présentent également un nombre de pause supérieur ainsi qu'une durée moyenne et une durée totale de ces pauses plus longues comparativement aux participants sans symptômes dépressifs. Le débit de parole et le débit articulatoire sont quant à eux réduits comparativement aux participants présentant la MP sans symptômes dépressifs. Les participants avec symptômes dépressifs présentent également un EIS maximum, un EIS moyen, un écart-type ainsi qu'un écart interquartile de l'EIS significativement plus élevés que les participants sans symptômes dépressifs.

Le tableau 5 reprend l'ensemble des résultats concernant les productions des participants du groupe MP, avec et sans symptômes dépressifs.

Tableau 5. Effet des symptômes dépressifs (< 10 et ≥ 10) sur les mesures temporelles analysées dans le groupe MP

Mesures	Valeur de la statistique	Effet symptômes dépressifs (groupe MP)
Durée totale (s)	U = 517	NS ($p=.104$)
Durée moyenne des énoncés (s)	U = 992	S ($p<.001$)
Durée totale des pauses (s)	U = 387,5	S ($p=.003$)
Durée moyenne des pauses (s)	U = 527	NS ($p=.128$)
Nombre de pauses (>250ms)	U = 422	S ($p=.008$)
Débit articulatoire (phonème/s)	U = 888	S ($p=.023$)
Débit de parole (phonème/s)	U = 1002	S ($p<.001$)
EIS minimum (s)	U = 552,5	NS ($p=.210$)
EIS maximum (s)	U = 423,5	S ($p=.009$)
Moyenne de l'EIS (s)	U = 326	S ($p<.001$)
Médiane de l'EIS (s)	U = 518	NS ($p=.106$)
Écart-type de l'EIS (s)	U = 291,5	S ($p<.001$)
Écart interquartile de l'EIS (s)	U = 316	S ($p<.001$)

C - Comparaison des productions des participants des groupes contrôle et MP, avec et sans symptômes dépressifs

Suite aux résultats présentés ci-dessus dans chacun des groupes considéré séparément, une analyse croisée en fonction du groupe et des symptômes dépressifs a été menée. Les résultats qui en découlent permette de comparer de potentiels effets d'interaction, tout en demeurant prudent quant à l'interprétation de ceux-ci au vu des effectifs considérés. Dix mesures temporelles ont permis de mettre en évidence un effet d'interaction entre l'appartenance au groupe de participants (contrôle ou MP) et la présence ou non de symptômes dépressifs.

La durée totale des pauses apparait comme plus longue chez les participants atteints de la MP avec symptômes dépressifs ($m = 2.27s.$) comparativement à la durée moyenne générale ($m = 1.69s.$) Le nombre de pauses est également plus élevé chez ces participants ($m = 4.21$) comparativement aux autres groupes ($m = 2.85$) ainsi que comparativement à la moyenne générale ($m = 3.6$). La durée moyenne des énoncés est significativement plus longue pour les participants atteints de la MP avec des symptômes dépressifs ($m = 2.19s$) comparativement à la moyenne des autres groupes ($m = 1.91s$). Le débit articulatoire et le débit de parole apparaissent quant à eux comme significativement réduits. Enfin, les participants atteints de la MP avec symptômes dépressifs présentent également un EIS maximum, moyen et médian, un écart-type ainsi qu'un écart interquartile de l'EIS significativement plus élevés que les participants des autres groupes.

Aucune différence significative n'a été observée pour les autres mesures temporelles.

Le tableau 6 reprend l'ensemble des résultats concernant les productions des participants des groupes contrôle et MP, avec et sans symptômes dépressifs.

Tableau 6. Effet croisé du groupe (contrôle et MP) et des symptômes dépressifs (< 10 et ≥10) sur les mesures temporelles analysées

Mesures	Valeur de la statistique	Groupe*Symptômes dépressifs
Durée totale (s)	F = 3,175	NS ($p=.076$)
Durée moyenne des énoncés (s)	F =4,065	S ($p=.045$)
Durée totale des pauses (s)	F =8,267	S ($p=.004$)
Durée moyenne des pauses (s)	F =,370	NS ($p=.544$)
Nombre de pauses (>250ms)	F =6,695	S ($p=.010$)
Débit articulatoire (phonème/s)	F =5,878	S ($p=.016$)
Débit de parole (phonème/s)	F =11,970	S ($p<.001$)
EIS minimum (s)	F =,708	NS ($p=.401$)
EIS maximum (s)	F =9,205	S ($p=.003$)
Moyenne de l'EIS (s)	F =11,605	S ($p<.001$)
Médiane de l'EIS (s)	F =6,027	S ($p=.015$)
Écart-type de l'EIS (s)	F =12,241	S ($p<.001$)
Écart interquartile de l'EIS (s)	F =10,488	S ($p=.001$)

Discussion

I - Interprétation des résultats

Les résultats de cette étude nous permettent d'identifier des mesures temporelles susceptibles de différencier, de manière significative, des locuteurs atteints de la MP avec et sans symptômes dépressifs. Nos résultats nous permettent également de différencier plus particulièrement les participants atteints de la MP avec symptômes dépressifs des autres participants rencontrés, à savoir des participants atteints de la MP sans symptômes dépressifs et des participants contrôles, avec ou sans symptômes dépressifs.

Par ailleurs, nos résultats nous permettent de constater qu'aucune différence significative n'apparaît lorsque les productions de parole des participants contrôles avec et sans symptômes dépressifs sont comparées. Dès lors, les paramètres identifiés semblent apparaître comme de potentiels marqueurs permettant la détection des altérations temporelles associées aux symptômes dépressifs dans le cadre de la MP.

De fait, nos résultats suggèrent que les participants atteints de la MP et présentant des symptômes dépressifs présentent une durée moyenne des énoncés et des durées de pauses plus longues que ce qui est observé chez les autres participants. Par ailleurs, nous observons un débit de parole et un débit articulatoire réduit comparativement aux autres participants, ce qui semble cohérent avec l'augmentation des durées moyennes d'énoncés et de pauses observée. Les résultats suggèrent également que ces participants présentent une variabilité rythmique accrue. Ces éléments pourraient dès lors traduire un ralentissement articulatoire et une organisation temporelle moins fluide, tel que suggéré par Rusz et al. (2021), qui semblent ici exacerbés par la présence des symptômes dépressifs.

Identifier ces potentiels marqueurs propres aux symptômes dépressifs dans la MP vient enrichir les études actuelles encore peu nombreuses sur la combinaison des informations psycho-affectives et acoustiques dans la MP, comme cela était également suggéré par Pérez-Toro et al. (2022).

Ces résultats semblent par ailleurs concordants avec les constats évoqués par Menne et al. (2024) qui soulignent les variations dans le débit de parole de patients atteints de dépression. Toutefois, cette similitude n'apparaît que chez les patients atteints de la MP, laissant supposer l'effet conjoint des troubles dysarthriques et des symptômes dépressifs. Aucune différence n'apparaissant chez les sujets du groupe contrôles, des réflexions sont à poser concernant la symptomatologie dépressive identifiée chez ces participants, les symptômes relevés étant par ailleurs uniquement catégorisés dans les symptômes dépressifs légers.

II - Intérêts de l'étude

Dans cette étude, il nous a semblé opportun de prendre en compte la possible expression symptomatique d'une attitude dépressive chez nos participants. En effet, comme nous l'avons présenté précédemment, les troubles de l'humeur, telle la dépression, font partie de la symptomatologie non-motrice de la MP, ceux-ci pouvant même être des signes précurseurs de la maladie. Par ailleurs, Menne et al. (2024) ont mis en évidence des modifications dans le débit de parole des patients présentant des symptômes dépressifs, telle qu'une réduction de ce débit, qui s'explique selon eux par un ralentissement psychomoteur consécutif à la dépression. Se questionner sur le retentissement de ces affects dépressifs chez des patients atteints de la MP, et présentant de ce fait un ralentissement psychomoteur associé à la maladie, est dès lors apparu comme pertinent.

Nos résultats semblent permettre de différencier les patients atteints de la MP selon qu'ils présentent ou non des symptômes dépressifs, ce qui n'est pas le cas pour les productions de parole analysées chez les participants contrôles avec ou sans symptomatologie dépressive. Ces mesures temporelles, en particulier celles relatives à la durée moyenne des énoncés, à la durée des pauses, à la variabilité intersyllabique ainsi qu'au débit de parole et au débit articulatoire, apparaissent dès lors comme des éventuels indices permettant de détecter la présence de symptômes dépressifs de manière objective dans les productions de parole.

III - Limites et perspectives

Certaines limites peuvent être évoquées dans l'interprétation des résultats. Tout d'abord, les participants rencontrés dans le cadre de cette étude ont été classés en sous-groupes présentant ou non des symptômes dépressifs à partir de l'échelle d'auto-évaluation du BDI-II (Beck et al., 1996). Aucun diagnostic formel de dépression n'a toutefois été posé pour ces participants. Par ailleurs, nous avons posé le choix de scinder nos participants au regard du score-seuil de 10, sans partitionner, lors des analyses statistiques, nos participants de manière plus fine (symptômes dépressifs légers, modérés ou sévères). Ce choix visait à garantir une puissance statistique suffisante pour les analyses, mais il pourrait toutefois masquer des différences plus fines. Par ailleurs, la distribution inégale des participants du groupe MP selon la présence ou non de symptômes dépressifs ainsi que les symptômes dépressifs de plus forte intensité dans ce groupe comparativement au groupe contrôle constituent une limite importante à prendre en considération. Les recherches futures, incluant un nombre plus large de participants dans chacun des groupes, devront permettre d'affiner les analyses en fonction du niveau de sévérité des symptômes dépressifs et de vérifier si les différences significatives identifiées se confirment auprès d'un échantillon plus représentatif des populations ciblées.

Dans le cadre de cette étude, une seule tâche de production orale a été analysée. Le choix de cette tâche de lecture découle du fait que ce type de production permet un contrôle

strict du contenu linguistique, par des présentations textuelles identiques pour l'ensemble des participants, tout en permettant le recueil de données temporelles telles que les mesures de débit et de pauses notamment. Les autres productions recueillies à l'aide des modules figurant dans le protocole MonPaGe feront l'objet de futures analyses afin d'identifier si les mesures qui apparaissent ici comme pertinentes sont similaires en fonction de la nature de tâche proposée (parole contrôlée, telle que de la répétition de mots et de pseudo-mots et parole spontanée par exemple) et du contexte écologique de celles-ci (tâches hors et en contexte communicationnel).

Toujours dans l'objectif de garantir une puissance statistique suffisante, nous n'avons pas introduit des caractéristiques spécifiques aux participants atteints de la MP, tel que le degré d'avancement de la maladie par exemple. Ce choix a par ailleurs été renforcé par l'étude de Pérez-Toro et al. (2022) qui ont mis en évidence que l'avancement de la maladie n'influait pas sensiblement les résultats relatifs à la symptomatologie dépressive. Toutefois, des caractéristiques propres aux participants atteints de la MP pourraient également venir affiner nos analyses, tel que le stade de la maladie ou le degré de sévérité de la dysarthrie, et seront pris en considération dans de futures études. Enfin, l'état cognitif des participants devrait également être pris en considération comme variable potentiellement modératrice. Les recherches futures proposeront une évaluation centralisée de ces différents paramètres pouvant influencer les productions de parole. Par ailleurs, une étude complémentaire, incluant des patients présentant un diagnostic de dépression, est également envisagée afin de permettre des comparaisons avec une population clinique.

Références bibliographiques

- Agüera-Ortiz, L., García-Ramos, R., Grandas Pérez, F. J., López-Álvarez, J., Montes Rodríguez, J. M., Olazarán Rodríguez, F. J., ... & Porta-Etessam, J. (2021). Focus on depression in Parkinson's disease: A Delphi consensus of experts in psychiatry, neurology, and geriatrics. *Parkinson's Disease*, 2021(1), 6621991.
- Almaghrabi, S. A., Clark, S. R., & Baumert, M. (2023). Bio-acoustic features of depression: A review. *Biomedical Signal Processing and Control*, 85, 105020.
- Angelopoulou, E., Stanitsa, E., Karpodini, C. C., Bougea, A., Kontaxopoulou, D., Fragkiadaki, S., Koros, C., Georgakopoulou, V. E., Fotakopoulos, G., Koutedakis, Y., Piperi, C., & Papageorgiou, S. G. (2023). Pharmacological and Non- Pharmacological Treatments for Depression in Parkinson's Disease : An Updated Review. *Medicina*, 59(8), 1454. <https://doi.org/10.3390/medicina59081454>
- 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>
- Aubignat, M., Tir, M., & Krystkowiak, P. (2021). Les symptômes non-moteurs de la maladie de Parkinson de la physiopathologie au diagnostic précoce. *La Revue de Médecine Interne*, 42(4), 251-257. <https://doi.org/10.1016/j.revmed.2020.06.019>
- Azulay, J.-P., Witjas, T., & Eusebio, A. (2017). Les signes non moteurs de la maladie de Parkinson. *La Presse Médicale*, 46(2, Part 1), 195-201. <https://doi.org/10.1016/j.lpm.2016.11.015>
- Beck, A. T., Steer, R. A., & Brown, G. (1996). Beck depression inventory–II. *Psychological assessment*.

- Berg, D., Postuma, R. B., Adler, C. H., Bloem, B. R., Chan, P., Dubois, B., ... & Deuschl, G. (2015). MDS research criteria for prodromal Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 30(12), 1600-1611.
- Bonnet, A. (2001). Symptômes de la maladie de Parkinson. *Gérontologie et société*, 24(97), 129-138. <https://doi.org/10.3917/g.s.097.0129>
- 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)
- Chaudhuri, K. R., Odin, P., Antonini, A., & Martinez-Martin, P. (2011). Parkinson's disease: The non-motor issues. *Parkinsonism & Related Disorders*, 17(10), 717-723. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2011.02.018>
- Conroy, S. K., Brownlowe, K. B., & McAllister, T. W. (2020). Depression comorbid with stroke, traumatic brain injury, Parkinson's disease, and multiple sclerosis: Diagnosis and treatment. *Focus*, 18(2), 150-161.
- Dias, A. E., Barbosa, M. T., Limongi, J. C. P., & Barbosa, E. R. (2016). Speech disorders did not correlate with age at onset of Parkinson's disease. *Arquivos de neuro-psiquiatria*, 74, 117-121.
- 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>
- 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>
- Guimaraes, I., Cardoso, R., Pinto, S., & Ferreira, J. J. (2017). The Psychometric Properties of the Voice Handicap Index in People With Parkinson's Disease. *Journal of Voice*, 31(2), 258.e13-258.e18. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.05.017>
- Gumus, M., DeSouza, D. D., Xu, M., Fidalgo, C., Simpson, W., & Robin, J. (2023). Evaluating the utility of daily speech assessments for monitoring depression symptoms. *DIGITAL HEALTH*, 9, 20552076231180523. <https://doi.org/10.1177/20552076231180523>
- Hartelius, L., & Svensson, P. (1994). Speech and Swallowing Symptoms Associated with Parkinson's Disease and Multiple Sclerosis : A Survey. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 46(1), 9-17. <https://doi.org/10.1159/000266286>
- Heimrich, K. G., Schönenberg, A., Santos-García, D., Mir, P., COPPADIS Study Group, & Prell, T. (2023). The Impact of Nonmotor Symptoms on Health-Related Quality of Life in Parkinson's Disease: A Network Analysis Approach. *Journal of Clinical Medicine*, 12(7), 2573.
- IBM Corp. (2023). *IBM SPSS Statistics pour Macintosh (version 29.0.2.0)* [logiciel]. Armonk, NY : IBM Corp.
- Kalia, L. V., & Lang, A. E. (2015). Parkinson's disease. *The Lancet*, 386(9996), 896-912. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)61393-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)61393-3)

- Karan, B., Sahu, S. S., & Orozco-Arroyave, J. R. (2022). An investigation about the relationship between dysarthria level of speech and the neurological state of Parkinson's patients. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 42(2), 710-726.
- Kazmi, H., Walker, Z., Booij, J., Khan, F., Shah, S., Sudre, C. H., Buckman, J. E. J., & Schrag, A.-E. (2021). Late onset depression : Dopaminergic deficit and clinical features of prodromal Parkinson's disease: a cross-sectional study. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 92(2), 158-164. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2020-324266>
- 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/>
- Laux, G. (2022). Parkinson and depression : Review and outlook. *Journal of Neural Transmission*, 129(5), 601-608. <https://doi.org/10.1007/s00702-021-02456-3>
- Lepage, C. (2012). Les symptômes non moteurs. *Le médecin du Québec*, 47(8), 45-51.
- Low, D. M., Bentley, K. H., & Ghosh, S. S. (2020). Automated assessment of psychiatric disorders using speech : A systematic review. *Laryngoscope Investigative Otolaryngology*, 5(1), 96-116. <https://doi.org/10.1002/lio2.354>
- Marsh, L. (2013). Depression and Parkinson's Disease : Current Knowledge. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 13(12), 409. <https://doi.org/10.1007/s11910-013-0409-5>
- Menne, F., Dörr, F., Schröder, J., Tröger, J., Habel, U., König, A., & Wagels, L. (2024). The voice of depression : Speech features as biomarkers for major depressive disorder. *BMC Psychiatry*, 24(1), 794. <https://doi.org/10.1186/s12888-024-06253-6>
- Miller, N., Noble, E., Jones, D., & Burn, D. (2006). Life with communication changes in Parkinson's disease. *Age and Ageing*, 35(3), 235-239. <https://doi.org/10.1093/ageing/afj053>
- Ozsancak, C., & Auzou, P. (2005). Speech therapy for the dysarthria of Parkinson's disease. *Revue neurologique*, 161(8-9), 857-861.
- Pérez-Toro, P. A., Arias-Vergara, T., Klumpp, P., Vásquez-Correa, J. C., Schuster, M., Noeth, E., & Orozco-Arroyave, J. R. (2022). Depression assessment in people with Parkinson's disease: The combination of acoustic features and natural language processing. *Speech Communication*, 145, 10-20.
- 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.
- Pfeiffer, R. F. (2016). Non-motor symptoms in Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders*, 22, S119-S122. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2015.09.004>
- 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.
- 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>

- Postuma, R. B., Berg, D., Stern, M., Poewe, W., Olanow, C. W., Oertel, W., ... & Deuschl, G. (2015). MDS clinical diagnostic criteria for Parkinson's disease. *Movement disorders*, 30(12), 1591-1601.
- Prange, S., Klinger, H., Laurencin, C., Danaila, T., & Thobois, S. (2022). Depression in Patients with Parkinson's Disease : Current Understanding of its Neurobiology and Implications for Treatment. *Drugs & Aging*, 39(6), 417-439. <https://doi.org/10.1007/s40266-022-00942-1>
- Reijnders, J. S. A. M., Ehrt, U., Weber, W. E. J., Aarsland, D., & Leentjens, A. F. G. (2008). A systematic review of prevalence studies of depression in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 23(2), 183-189. <https://doi.org/10.1002/mds.21803>
- 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>
- Sapir, S. (2014). Multiple factors are involved in the dysarthria associated with Parkinson's disease : A review with implications for clinical practice and research. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research: JSLHR*, 57(4), 1330-1343. https://doi.org/10.1044/2014_JSLHR-S-13-0039
- 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>
- Starkstein, S. E., & Brockman, S. (2017). Management of Depression in Parkinson's Disease : A Systematic Review. *Movement Disorders Clinical Practice*, 4(4), 470-477. <https://doi.org/10.1002/mdc3.12507>
- Tolosa, E., Wenning, G., & Poewe, W. (2006). The diagnosis of Parkinson's disease. *The Lancet Neurology*, 5(1), 75-86. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(05\)70285-4](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(05)70285-4)