

MEMOIRE

En vue de l'obtention du
Certificat de Capacité d'Orthophoniste
présenté par

Priscille TISSIER

soutenu publiquement en juin 2021

Perception de la parole dans la maladie de Parkinson : impact des indices prédictifs

MEMOIRE dirigé par

Anahita BASIRAT, MCU, Université de Lille

Caroline MOREAU, PU-PH, Université de Lille et CHRU de Lille

Lille – 2021

Remerciements

Je remercie vivement ma directrice de mémoire, Madame Basirat pour son soutien, sa bienveillance et ces conseils si précieux tout au long de ces deux années. Je lui suis très reconnaissante pour sa disponibilité à m'aider à m'appropriier ce sujet ainsi que pour ses encouragements lors des changements dus au contexte sanitaire.

Je remercie chaleureusement Madame le Docteur Moreau pour son accompagnement dans ce travail.

Merci Juliette pour ce travail d'équipe pendant ces deux années.

Merci Claire et Bonne-Maman pour vos relectures minutieuses.

Je remercie du fond du cœur mes maîtres de stage de m'avoir transmis leur passion.

Enfin, je tiens à remercier ma famille et mes amis pour leur soutien sans faille tout au long de ces années d'étude. Je pense en particulier aux amies d'orthophonie et à leur présence indéfectible en toute situation.

Résumé :

Le codage prédictif est un mécanisme par lequel le cerveau émet des hypothèses à partir de ses représentations internes sur les informations sensorielles reçues de l'extérieur. Cela permet d'anticiper l'arrivée du signal et facilite sa détection. Il existe actuellement peu d'études sur l'atteinte des mécanismes prédictifs impliqués dans la perception audiovisuelle de la parole dans la maladie de Parkinson. L'objectif de notre étude était de pallier ce manque en utilisant des mesures comportementales et électrophysiologiques (EEG). Dans un premier temps, une revue de la littérature a été réalisée sur les potentiels évoqués auditifs (ERP), cibles de notre étude. Le résultat de cette revue suggère une augmentation de l'amplitude et de la latence de ces ERP en lien avec la maladie de Parkinson, reflétant un dysfonctionnement des mécanismes cognitifs sous-jacents. Dans la partie expérimentale, nous nous sommes intéressée à la perception de la parole dans la modalité auditive et audiovisuelle et cela en présence des différents indices prédictifs. Nos résultats soulignent l'impact de la maladie de Parkinson sur les mécanismes prédictifs mis en jeu dans la perception de la parole. Nous discutons des données préliminaires dans ce mémoire. Nous discutons également de l'importance d'évaluer les compétences perceptives des individus atteints de la maladie de Parkinson. Le versant réceptif de la parole chez les sujets atteints de la maladie de Parkinson reste peu connu. L'exploration de ce domaine permettrait de mieux comprendre leurs difficultés et ouvrirait la voie à de nouvelles pistes de rééducation orthophonique.

Mots-clés :

Maladie de Parkinson – perception de la parole – indices prédictifs – ERP

Abstract :

Predictive coding is a mechanism by which the brain hypothesizes from its internal representations on the sensory information received from the outside. This allows the brain to anticipate the arrival of the signal and facilitates its detection. There are currently few studies on the impairment of the predictive mechanisms involved in audiovisual speech perception in Parkinson's disease. The aim of our study was to address this lack by using behavioral and electrophysiological (EEG) measures. First, a review of the literature was performed on auditory evoked potentials (ERP), the target of our study. The result of this review suggests an increase in the amplitude and latency of these ERPs in Parkinson's disease, reflecting a dysfunction of the underlying cognitive mechanisms. In the experimental part, we were interested in the perception of speech in the auditory, visual and audiovisual modalities in the presence of different predictive cues. Our results highlight the impact of Parkinson's disease on the predictive mechanisms involved in speech perception. We discuss the preliminary data in this thesis. We also discuss the importance of assessing the perceptual skills of individuals with Parkinson's disease. The receptive side of speech in subjects with Parkinson's disease remains poorly understood. Exploring this area would provide a better understanding of their difficulties and open up new way for speech therapy.

Keywords :

Parkinson disease – speech perception – predictive cues – ERP

Table des matières

Introduction	1
Contexte théorique, buts et hypothèses	1
.1.Perception de la parole et mécanismes prédictifs	1
1.1. Perception audiovisuelle de la parole	1
1.2. Données électrophysiologiques de la perception de la parole	3
1.3. Mécanismes prédictifs dans la perception de la parole	4
.2.Maladie de Parkinson	6
.3.Mécanismes prédictifs et maladie de Parkinson.....	7
.4.Buts et hypothèses	10
Revue de littérature et expérience EEG.....	10
.1.Revue de littérature.....	11
1.1. Méthode	11
1.2. Résultats	11
.2.Partie expérimentale	14
2.1. Participants	15
2.2. Stimuli	15
2.3. Procédure	17
2.4. Analyse des résultats	18
.3.Résultats	18
3.1. EEG : perception auditive de la parole.....	18
3.2. EEG : perception audiovisuelle de la parole	19
Discussion.....	20
.1.Discussion des résultats	20
.2.Limites et ouvertures	24
.3.Intérêts orthophoniques	25
Conclusion.....	26
Bibliographie	27
Liste des annexes	33
Annexe n°1 : Impact des connaissances préalables sur le traitement de la parole audiovisuelle (Pinto et al., 2019).	33
Annexe n°2 : Tableau récapitulatif de la revue de la littérature scientifique sur les ERP auditifs dans la maladie de Parkinson.....	33

Introduction

Ces dernières années, de nombreux chercheurs se sont penchés sur les mécanismes impliqués dans la perception de la parole. Ils ont montré que nous nous appuyons sur les indices visuels en plus des informations auditives. Cela est particulièrement visible dans les situations de perception de la parole dans le bruit : nous nous aidons de la lecture labiale pour compléter les informations auditives que nous recevons. Les données visuelles et auditives se combinent pour que nous ayons accès à une information cohérente. Cela requiert des fonctionnements cérébraux complexes. Récemment, des études ont souligné l'importance du codage prédictif, mécanisme par lequel les représentations internes du sujet influencent le traitement perceptuel : le cerveau émet des hypothèses sur les informations sensorielles qu'il s'apprête à recevoir. Il doit sans cesse mettre à jour ces prédictions pour les confirmer ou se réajuster en cas d'erreur (Cope et al., 2017; Noppeney & Lee, 2018; van Wassenhove et al., 2005a).

La maladie de Parkinson est définie par une atteinte de la substance noire et des neurones dopaminergiques dont les conséquences sont essentiellement motrices. Parmi celles-ci, on trouve la dysarthrie, trouble de la production de la parole. La perception de la parole dans cette maladie neurodégénérative est un domaine encore peu exploré. Des recherches ont montré que les patients atteints de la maladie de Parkinson présentent des déficits des mécanismes de prédiction dans certains domaines, notamment au niveau moteur. Une étude de Behroozmand et Johari (2019) suggère que les individus atteints de la maladie de Parkinson présentent un déficit des mécanismes prédictifs temporels lors d'une tâche motrice consistant en un mouvement de la main.

L'objectif de notre étude est de déterminer si la maladie de Parkinson impacte la perception de la parole, auditive et audiovisuelle, et les mécanismes prédictifs impliqués.

Tout d'abord, nous étudierons les mécanismes impliqués dans la perception audiovisuelle de la parole dans la littérature. Nous examinerons aussi la théorie du codage prédictif de la parole. Puis nous détaillerons le fonctionnement de la maladie de Parkinson et ses répercussions avant de terminer par l'étude des mécanismes prédictifs dans cette pathologie neurodégénérative. Dans un deuxième temps, nous présenterons la revue de littérature scientifique que nous avons réalisée sur les potentiels évoqués (ERP) auditifs dans la maladie de Parkinson. Ces ERP sont en lien avec ceux que l'on étudiera dans la partie expérimentale de notre mémoire. Nous exposerons également la méthodologie dont nous analyserons et discuterons ensuite les résultats.

Contexte théorique, buts et hypothèses

.1. Perception de la parole et mécanismes prédictifs

1.1. Perception audiovisuelle de la parole

La perception de la parole repose sur les mécanismes de perception auditive. Lorsque le sujet entend un son, le signal acoustique est transformé en signal électrique par les cellules

ciliées internes puis conduit jusqu'à l'aire auditive primaire dans le lobe temporal par le nerf (VIII) vestibulocochléaire (Frachet & Vormès, 2009).

Les informations visuelles jouent également un rôle important dans la perception de la parole. La lecture labiale est indispensable aux malentendants pour pallier leur déficit auditif (Colin & Radeau, 2003) : ils s'appuient sur les mouvements des articulateurs visibles de l'interlocuteur (Fort, 2009). Cela est également utile aux personnes normo-entendantes dans des situations où le signal auditif est dégradé (Sumbly & Pollack, 1954) mais aussi lorsque le signal est normal mais le contenu du message sémantiquement complexe (Reisberg et al., 1987).

Il est aussi intéressant de constater que nous nous basons sur les stimuli visuels pour percevoir un énoncé auditif dans un environnement calme (Cerrato et al., 1998). L'auditeur regarde le visage de son interlocuteur, notamment la bouche, les lèvres, la langue et les dents : c'est ce que Peelle et Sommers (2015) appellent « parole visuelle ». Les signaux visuels fournissent des informations sur le lieu d'articulation. On peut en effet voir si les lèvres du locuteur se ferment pour prononcer une consonne bilabiale telle que /p/, /b/, /m/, si la langue s'élève derrière les incisives supérieures au niveau des alvéoles pour émettre un son alvéo-dental comme /t/, /d/, /n/, ou si elle recule pour articuler un phonème vélaire tel que /k/ ou /g/. De plus, la perception visuelle de la parole apporte des indices temporels concernant le moment où l'auditeur devra prêter attention à son interlocuteur. Par exemple, lors d'un dîner où plusieurs conversations coexistent, voir la bouche de l'orateur s'ouvrir permet de savoir qu'il va parler et d'allouer toute son attention à son intervention (Peelle & Sommers, 2015). Ces prédictions temporelles sont indispensables pour garantir l'orientation de l'attention et ainsi assurer l'efficacité de l'interaction (Breska & Ivry, 2018).

Les indices visuels et auditifs peuvent être complémentaires. Miller et Nicely (1955) ont ainsi montré que les signaux auditifs aident davantage à percevoir le mode d'articulation et la sonorisation des consonnes tandis que les indices visuels favorisent la détermination de leur lieu d'articulation. Par exemple, les phonèmes /m/ et /n/ sont difficiles à différencier auditivement car ce sont deux constrictives nasales sonores mais la vision de leur lieu d'articulation permet de les distinguer : le /m/ est bilabial tandis que le /n/ est alvéo-dental. La perception visuelle permet d'accéder à une classe de visèmes - homologues visuels du phonème (Peelle & Sommers, 2015) - tels que les bilabiaux /p/, /b/ et /m/ et les stimuli auditifs de catégoriser les sons (Van Wassenhove et al., 2005).

L'effet McGurk est une parfaite illustration de l'intégration audiovisuelle. McGurk et McDonald (1976) confrontent des stimuli visuels et auditifs contradictoires et simultanés. Ils constatent que lorsqu'ils présentent simultanément les syllabes auditives bilabiales /ba/ et visuelles vélares /ga/, les sujets réalisent une fusion et perçoivent /da/. Si au contraire, ces derniers entendent les syllabes /ga/ et voient la structure /ba/, ils opèrent une combinaison de type /baga/ ou /bga/. Les expérimentateurs emploient l'expression « entendre par les yeux » pour qualifier ce phénomène.

La saillance perceptive est une interprétation de l'effet McGurk (Colin & Radeau, 2003). Cela signifie que la perception finale dépend du poids du stimulus visuel ou auditif. Ainsi, les consonnes bilabiales /p/ et /b/ sont plus saillantes visuellement car on ne peut ignorer la projection labiale et les phonèmes /k/ et /g/ auditivement de par la force de l'explosion. Cela explique l'obtention de la combinaison /baga/ ou /bga/ : les deux stimuli sont saillants, c'est pourquoi le sujet est amené à les combiner. Dans le cas de la fusion, aucun stimulus n'est plus

saillant que l'autre. L'auditeur perçoit /da/, /d/ étant un phonème alvéo-dental intermédiaire entre l'occlusive bilabiale et l'occlusive vélaire.

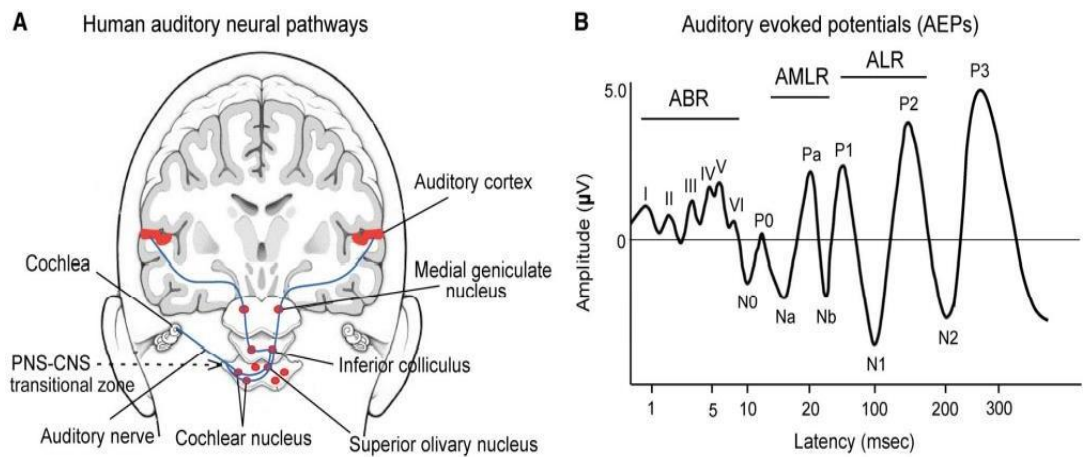
Dans les recherches sur l'effet McGurk, Colin et Radeau (2003) ont étendu cet effet à d'autres structures syllabiques, aux voyelles, aux mots et phrases ainsi qu'aux stimuli synthétiques.

1.2. Données électrophysiologiques de la perception de la parole

L'électroencéphalographie est une technique non invasive « qui permet l'enregistrement de l'activité électrique spontanée des neurones du cortex cérébral » (Larousse, 2021). On appelle cette activité électrique « électroencéphalogramme » ou « EEG ». Les événements sensoriels, cognitifs et moteurs engendrent des réponses neurales qu'il est possible d'extraire de l'EEG global. On nomme ces réponses « ERP » ou « réponses liées à l'événement » pour souligner qu'il s'agit de potentiels électriques liés à des événements spécifiques (Luck, 2014).

L'analyse des ERP consiste à quantifier leur amplitude et le moment auquel ils apparaissent. L'amplitude d'une composante se définit ainsi comme la tension de l'activité du cerveau, c'est-à-dire la puissance de ses impulsions électriques. Elle représente les ressources neurales impliquées dans les processus cognitifs. La latence d'une composante est considérée comme « le moment de ce point » (Luck, 2014) et reflète l'évolution de l'apparition de ces mécanismes. Les ondes ERP résultant de la moyenne sont une suite de déviations de tensions positives et négatives que l'on nomme pics, ondes ou composantes.

La figure 1 représente les différentes composantes en lien avec la perception auditive. On distingue les composantes exogènes précoces, à savoir N1 et P2, qui dépendent des caractéristiques physiques du stimulus et les composantes endogènes tardives, c'est-à-dire N2 et P3, qui dépendent des conditions de la tâche cognitive liée au stimulus (Ruzicka & Massiou, 1993). Les ERP P1 et N1 constituent les premiers stades du traitement auditif lié au stimulus : P1 représente l'éveil auditif pré-attentionnel et N1 la détection et l'orientation des changements auditifs. L'onde P2 est corrélée à l'attention, la mémoire, à l'apprentissage perceptif et au traitement inhibiteur (Ruzicka & Massiou, 1993). L'ERP P300 est observé, entre autres, dans le paradigme oddball. Cette tâche comporte des stimuli cibles et des stimuli déviants. Ces derniers, peu fréquents, provoquent une onde P300 d'amplitude beaucoup plus grande que celle obtenue pour les stimuli fréquents. L'onde P300 se divise en deux parties : le P3a est une onde positive déclenchée par la nouveauté et P3b une onde reflétant les mises à jour effectuées en fonction du contexte et de la mémoire (Luck, 2014). Le pic P300 permet ainsi de mesurer le traitement cognitif (Katsarou et al., 2004).



(A) Schéma représentant les voies neurales auditives

(B) Evolution temporelle des ERP auditifs

Fig. 1 Le système nerveux auditif humain. Figure adaptée de Jafari et al., (2020).

Nous reviendrons sur ces composantes dans la revue de littérature et dans les résultats.

1.3. Mécanismes prédictifs dans la perception de la parole

Le traitement de la parole ne se limite pas à des mécanismes ascendants qui feraient du cerveau un simple organe d'analyse de stimuli provenant du monde extérieur. A partir des informations sensorielles reçues et synthétisées, il génère un raisonnement probabiliste et émet des hypothèses. Dans le cas de la perception de la parole audiovisuelle, le cerveau s'appuie sur les données visuelles pour prédire les stimuli auditifs. Cela permet d'expliquer la fusion /da/ obtenue dans l'expérience de McGurk et McDonald (1976) sur présentation visuelle de /ga/ et auditive de /ba/ (McGurk & Macdonald, 1976; Noppeney & Lee, 2018). En effet, le récepteur opère une fusion entre le phonème bilabial antérieur /b/ présenté auditivement et le phonème vélaire postérieur /g/ présenté visuellement : il perçoit un son intermédiaire, à savoir le phonème apico-dental /d/. Cette inférence causale dépend de plusieurs paramètres tels que l'asynchronie temporelle, la disparité spatiale ou encore la congruence phonétique, c'est-à-dire la correspondance entre le stimulus visuel et auditif (Noppeney & Lee, 2018).

Van Wassenhove et al. (2005) ont mené trois EEG pour étudier l'impact de la parole visuelle sur les ERP. Ils ont présenté des stimuli congruents /pa/, /ta/, /ka/ et incongruents /ta/ en modalité auditive, visuelle et audiovisuelle aux participants. Les résultats montrent que la parole visuelle en modalité audiovisuelle réduit l'amplitude des ERP et facilite leur latence. Ils interprètent la diminution d'amplitude et la facilitation de latence des ERP en faveur du codage prédictif. Selon cette théorie, les traitements sensoriels sont influencés par la représentation interne du sujet. Les stimuli sont non seulement anticipés mais aussi confrontés de manière très précoce aux prédictions internes. Le cerveau ne cesse d'ajuster ses prédictions internes aux informations externes qu'il reçoit : il compare les informations sensorielles reçues aux prédictions qu'il a faites. Il peut arriver qu'il existe une différence entre les prédictions et les indices sensoriels, c'est-à-dire entre les informations descendantes et ascendantes. C'est l'erreur de prédiction (Noppeney & Lee, 2018). Van Wassenhove et al. (2005) soulignent que le traitement précoce se spécialise dans le calcul de l'erreur de prédiction interne. Les processus

descendants formulent donc des prédictions sur les stimuli attendus tandis que les processus ascendants expriment les erreurs de prédiction par rapport à ce qui était prévu (Cope, et al., 2017).

Nous avons vu que les informations visuelles facilitent le traitement multimodal de la parole. En effet, la perception visuelle de celle-ci peut précéder le signal auditif si les articulateurs du locuteur se mobilisent avant l'émission d'un son dans le cas de syllabes isolées. Cette asynchronie temporelle est de l'ordre de quelques centaines de millisecondes : la parole visuelle apparaît jusqu'à 400 ms avant le début de l'émission du signal acoustique (van Wassenhove et al., 2005). Lors de l'expérience comportementale d'identification de stimuli congruents et incongruents dans la modalité auditive, visuelle ou audiovisuelle, les ERP obtenus en modalité audiovisuelle sont plus rapides et plus petits que ceux récoltés en modalité auditive seule (van Wassenhove et al., 2005). Schwartz et Savariaux (2014) précisent toutefois que lorsque nous parlons, nous n'utilisons pas de syllabes isolées. Les syllabes s'enchaînent et les gestes de la parole produisent des stimuli visuels et auditifs de manière plus ou moins synchrone : ce sont les gestes comodulateurs. Il existe des situations où les indices visuels sont disponibles avant, après ou en même temps que les indices auditifs.

De plus, les résultats de cette même étude comportementale concernant la perception de syllabes isolées (van Wassenhove et al., 2005) montrent comment la parole visuelle en modalité audiovisuelle facilite la latence et réduit considérablement l'amplitude des ERP N1 (pic négatif déclenché 100 ms après l'émission d'un son) et P2 (pic positif à 200 ms) par rapport à la modalité auditive seule. Si le stimulus visuel est saillant et prédit le stimulus auditif, alors l'intégration auditive du signal acoustique est facilitée et la latence diminuée. Le degré de saillance influence le degré de facilitation de latence mais pas l'amplitude. Dans une étude récente sur l'impact des indices prédictifs visuels, Pinto et al. (2019) soulignent l'effet des indices prédictifs sur le traitement de la parole. Trois types d'indices visuels ont été présentés : l'indice « what » amorce le contenu phonologique de la syllabe, l'indice « when » annonce son arrivée et l'indice « what-when » cumule ces deux informations. Les indices relatifs au début de la syllabe (« quand ») et à son contenu phonétique (« quoi ») diminuent l'amplitude des ERP lors de la perception auditive de la parole. Les prédictions visuelles sur les caractéristiques articulatoires (« comment ») réduisent l'amplitude et le degré de latence des ERP du traitement audiovisuel de la parole.

Baart (2016) précise que l'amplitude des composantes N1 et P2 n'est pas modulée de la même manière. Il s'inspire des travaux de Stekelenburg et Vroomen (2012) pour qui la suppression du pic négatif N1 dépend des informations temporelles audiovisuelles et des propriétés spatiales. La diminution de l'amplitude de P2 dépend de la liaison phonétique qui a lieu juste avant P2 (Arnal et al., 2009) : la réduction est plus faible pour les stimuli audiovisuels congruents qu'incongruents (Stekelenburg & Vroomen, 2007). Dans une expérience, Lange (2009) a présenté des stimuli suivant une trajectoire temporelle et/ou de hauteur auditive régulière. Les participants devaient identifier la caractéristique du dernier stimulus. Quand le stimulus cible était précédé par des stimuli réguliers, ils étaient capables de prédire le moment d'apparition du dernier stimulus. Au contraire, quand la temporalité variait, aucune prédiction temporelle ne pouvait être faite. Etant donné que les informations temporelles jouent sur le traitement auditif précoce (N1) et tardif (P300) et les indices de hauteur sur les premières étapes de traitement (cf. Annexe A1), les temps de réaction des participants étaient plus rapides quand

les réponses temporelles étaient prévisibles.

Le traitement audiovisuel de la parole active principalement le sillon temporal supérieur (STS) (Noppeney & Lee, 2018) et le gyrus temporal supérieur (Van Wassenhove et al., 2005). Le STS intègre les stimuli de chaque modalité puis les renvoie vers les aires sensorielles primaires correspondantes.

Le lobe frontal joue lui aussi un rôle capital dans la perception de la parole audiovisuelle. En effet, l'aire motrice responsable du phonème produit par le locuteur s'active chez l'auditeur alors même qu'il ne parle pas. Cela permet d'expliquer la fusion /ta/ obtenue selon des critères moteurs dans l'effet McGurk (Skipper et al., 2007).

De plus, la région frontale est responsable de l'association des informations provenant des mécanismes descendants et ascendants. L'étude de Cope et al. (2017) montre ainsi qu'en raison de la neurodégénérescence frontale, les patients atteints d'aphasie progressive primaire non fluide précoce (nfvPPA) traitent plus tardivement les prédictions au niveau du lobe temporal. Mais on ne relève pas de retard dans le traitement des indices issus des mécanismes ascendants dans le lobe temporal. Le traitement de la parole dans le gyrus frontal inférieur (IFG) précède l'activation du STS : le gyrus frontal inférieur émet des prédictions phonologiques abstraites qui sont ensuite transmises sous forme de prédictions acoustiques et phonétiques au STS avant d'être comparées aux informations ascendantes (Sohoglu et al., 2012).

Nous avons vu que les prédictions temporelles en lien avec l'attention sont essentielles dans le traitement de la parole audiovisuelle. Au niveau cortical, le lobe pariétal inférieur, l'aire motrice supplémentaire et le cortex frontal inférieur droit sont impliqués dans le traitement temporel (Bueti et al., 2008).

Dans la deuxième partie, nous nous intéressons à la maladie de Parkinson car notre étude a pour but d'étudier l'impact de cette maladie sur les mécanismes de prédiction impliqués dans la perception de la parole.

.2. Maladie de Parkinson

La maladie de Parkinson est la deuxième maladie neurodégénérative après la maladie d'Alzheimer en France (Inserm, 2015). Elle touche entre 100 000 et 120 000 personnes en France et son incidence augmente avec 8000 nouveaux cas par an, probablement en raison du vieillissement de la population. La maladie de Parkinson concerne 1% des personnes âgées de plus de 65 ans (Inserm, 2015), soit entre 6 et 7 millions de personnes dans le monde (Defebvre & Vérin, 2015) ; sa prévalence augmente avec l'âge au-delà de 65 ans. C'est une cause majeure de handicap car la maladie évolue vers une perte de la capacité de marcher et une perte d'autonomie (Inserm, 2015).

La maladie de Parkinson se caractérise par la dégénérescence des neurones dopaminergiques de la voie nigro-striée, aussi appelée substance noire. Cette déplétion dopaminergique entraîne un dysfonctionnement des noyaux gris centraux, responsables du « contrôle de l'exécution des plans moteurs appris » (Viallet & Teston, 2007, p. 169). On retrouve également des lésions non dopaminergiques et une accumulation de la protéine α -synucléine au sein d'amas pathogènes appelés Corps de Lewy (Inserm, 2015).

Selon la HAS (2016), la maladie évolue en 4 stades. Les premiers symptômes apparaissent au cours de la phase de début puis la phase d'état se traduit par un équilibre thérapeutique. Les signes moteurs s'aggravent lors de la phase avancée puis les signes axiaux surgissent au moment du déclin.

L'âge est un facteur de risque important de la maladie (Inserm, 2015). La dégénérescence pourrait être favorisée par des facteurs génétiques et environnementaux, notamment par l'exposition accrue à certains pesticides (HAS, 2016).

Le diagnostic de la maladie de Parkinson repose sur une triade de symptômes moteurs. On retrouve une akinésie, c'est-à-dire une difficulté d'initiation des mouvements, un tremblement de repos et une rigidité posturale (HAS, 2016). Il existe également des signes non moteurs tels que l'anosmie, des troubles du comportement en sommeil paradoxal, des troubles de l'équilibre, des troubles cognitifs, la dépression et la constipation (Inserm, 2015).

Les patients atteints de la maladie de Parkinson peuvent présenter un trouble moteur de la parole appelé dysarthrie. D'après Duffy (2005 ; cité par Pinto et Ghio, 2008), la dysarthrie est un ensemble de troubles neurologiques de la parole résultant d'anomalies dans la force, la vitesse, la portée, la régularité, le tonus ou la précision des mouvements nécessaires au contrôle des aspects respiratoires, phonatoires, résonateurs, articulatoires et prosodiques de la production de la parole. Ces troubles sont dus à une atteinte du système nerveux central ou périphérique. Dans la maladie de Parkinson, la dysarthrie hypokinétique se manifeste par une voix soufflée et éraillée, une intensité moindre, un ton monotone, un rythme irrégulier, des palilalies, une perte de la précision articulatoire et des difficultés d'initiation motrice de la parole. Elle s'aggrave avec le temps et aboutit à l'inintelligibilité.

Il n'existe actuellement aucun traitement thérapeutique de la maladie de Parkinson. On propose aux patients atteints de la maladie de Parkinson des traitements symptomatiques qui visent à compenser le déficit dopaminergique. Il s'agit d'agonistes de la dopamine tels que la L-dopa ou d'inhibiteurs de la monoamine oxydase de type B, enzyme responsable de la dégradation de la dopamine (Inserm, 2015).

Au niveau chirurgical, la stimulation cérébrale profonde est envisageable pour certains patients de moins de 70 ans présentant notamment des dyskinésies et fluctuations motrices. Elle consiste en l'implantation d'électrodes dans le noyau subthalamique pour générer l'émission d'impulsions électriques.

La prise en charge des patients atteints de la maladie de Parkinson repose également sur des traitements non médicamenteux comme l'orthophonie, la kinésithérapie et l'ergothérapie (HAS, 2016). La rééducation orthophonique de la parole s'appuie sur des méthodes traditionnelles proposant des exercices de respiration, de phonation et d'articulation ou sur la méthode intensive LSVT (Lee Silverman Voice Treatment). L'orthophoniste propose des exercices de renforcement musculaire pour réduire les troubles de la déglutition. Des exercices de relaxation et d'amplification du mouvement sont bénéfiques pour prendre en charge la micrographie.

.3. Mécanismes prédictifs et maladie de Parkinson

L'impact de la maladie de Parkinson sur les mécanismes prédictifs a été étudié dans

différents domaines. Par exemple, Behroozmand et Johari (2019) se sont penchés sur les effets de la maladie de Parkinson sur des tâches de réaction sensori-motrice. Ces dernières consistaient en une tâche de parole (émission d'un /a/) ou de mouvement de la main (pression d'un bouton). Ils ont présenté des stimuli visuels temporels prévisibles et aléatoires à des sujets sains et malades dont ils ont mesuré le temps de réaction. Les résultats montrent une différence significative entre les deux groupes en cas de stimuli prévisibles : les sujets malades avaient un temps de réaction plus élevé car la prévisibilité temporelle n'induisait pas d'amélioration de leurs performances motrices. Les auteurs en concluent que les troubles sensorimoteurs des patients atteints de la maladie de Parkinson se traduisent en partie par une baisse de leur capacité à extraire des informations temporelles de stimuli prévisibles.

Il est légitime de se demander si les difficultés rencontrées par les sujets atteints de la maladie de Parkinson sont uniquement d'ordre moteur ou également sensoriel, c'est-à-dire généralisées. Afin de déterminer si la réduction d'entraînement à des modèles environnementaux réguliers observée chez les malades est spécifique à l'un des deux domaines ou généralisée, Te Woerd et al. (2017) ont mené une expérience durant laquelle les patients doivent appuyer sur un bouton quand ils entendent la tonalité cible. La variation de hauteur permet de prédire si la tonalité suivante est une cible. La magnétoencéphalographie montre une même activité de la bande bêta dans les cortex auditifs chez les patients et les sujets contrôles mais un engagement différent dans les aires motrices. Ces résultats prouvent donc que l'entraînement déficient dans la maladie de Parkinson est purement moteur. Dans cette même étude, les expérimentateurs constatent une absence d'effet P300 (potentiel évoqué apparaissant 300ms après une stimulation) dans les régions motrices. Ce résultat est à mettre en lien avec le fait que les patients atteints de la maladie de Parkinson présentent un P300 d'amplitude réduite (Pulvermüller et al., 1996). Selon Verleger et al. (2005), l'onde P300 est responsable du lien entre le stimulus et la réponse, autrement dit de la médiation entre l'intégration perceptuelle et la réponse motrice.

Compte tenu de ces différentes données, il est légitime de supposer que les mécanismes de perception de la parole, basés entre autres sur des données motrices et sensitives, seront atteints dans la maladie de Parkinson.

La dopamine tient une place capitale dans les mécanismes prédictifs. Tomassini et al. (2019) mettent en valeur l'importance de ce neurotransmetteur dans la capacité à anticiper les événements futurs. Ils ont réalisé une expérience au cours de laquelle les participants doivent répondre le plus vite possible à l'apparition d'un stimulus cible en appuyant sur une touche. Ils ont calculé le temps de réaction des patients atteints de la maladie de Parkinson avec et sans traitement dopaminergique ainsi que celui des sujets contrôles après présentation d'un stimulus avertissement (cercle blanc) suivi d'un stimulus cible (flèche colorée). Le temps de réaction est le délai entre le stimulus cible et le moment où le participant répond en appuyant sur la touche du clavier. Les témoins et patients atteints de la maladie de Parkinson suivant un traitement tirent profit des prédictions temporelles contrairement aux patients atteints de la maladie de Parkinson sans traitement. La déplétion dopaminergique dans la maladie de Parkinson rend donc les prédictions temporelles incertaines et empêche les sujets de prévoir leur réponse. Landmann (2007) s'est intéressée au rôle du lobe préfrontal et du striatum dans le système de la récompense. Les neurones dopaminergiques projetant dans le striatum ventral auraient un rôle de « critique » consistant à actualiser les prédictions internes par rapport aux informations

reçues de l'extérieur, et les neurones projetant dans le striatum dorsal une fonction « d'acteur » consistant à contrôler l'apprentissage. Elle souligne donc que la dopamine est essentielle dans le calcul de l'erreur de prédiction, c'est-à-dire de la différence entre la récompense reçue après un apprentissage et celle qui avait été prédite auparavant (Landmann, 2007).

De plus, Galea et al. (2012) ont découvert que la dopamine code la fiabilité ou précision de l'analyse sensorielle. Ils ont mesuré le temps de réaction de patients atteints de la maladie de Parkinson avec et sans traitement dopaminergique ainsi que celui des témoins entre la présentation du stimulus impératif et l'appui sur la touche du clavier. Certains stimuli étaient prévisibles, d'autres étaient inattendus, nécessitant de revenir aux attentes antérieures. Globalement, les patients atteints de la maladie de Parkinson sont plus lents que les témoins. Dans une séquence probable, les sujets atteints de la maladie de Parkinson sans traitement sont capables d'apprendre la prédiction mais leur capacité à réagir aux erreurs de prédictions nécessitant une reprogrammation d'action est réduite. Mais dans une séquence imprévisible avec des stimuli ne supposant pas de reprogrammation d'action, ils ne montrent pas de changement comportemental comme les patients traités ou les sujets contrôles. La dopamine est responsable de l'équilibre entre les informations sensorielles ascendantes et les prédictions descendantes. Elle code donc la précision de l'analyse sensorielle. Ainsi, les patients atteints de la maladie de Parkinson sans traitement dopaminergique font moins confiance aux informations sensorielles ascendantes et se fient davantage à leurs prédictions. S'ils commettent une erreur de prédiction, ils réagissent alors plus lentement au signal sensoriel inattendu mais correct.

Nous avons vu que les mécanismes de prédiction dépendent des informations temporelles. Etant donné que les sujets atteints de la maladie de Parkinson présentent des difficultés dans la formation des prédictions impliquées dans les tâches motrices, il nous paraît important de nous pencher sur le traitement des informations temporelles dans la maladie de Parkinson.

Lors d'une expérience de jugement d'ordre temporel, la tâche est moins réussie que chez les témoins (da Silva et al., 2015). Cette difficulté à appréhender la succession d'événements est due au manque de dopamine qui augmente la latence du temps de réaction. Selon Lake et Meck (2013), l'horloge interne, c'est-à-dire la capacité à estimer le temps, dépend de la quantité de dopamine présente dans les ganglions de la base. Les traitements agonistes qui miment l'action de la dopamine sur les récepteurs augmentent donc la vitesse de traitement tandis que les antagonistes la réduisent. Les noyaux gris centraux jouent un rôle essentiel dans la formation des prédictions temporelles. Berska et Ivry (2018) ont présenté des stimuli visuels de façon rythmique, aléatoire ou avec un intervalle à des participants atteints d'une dégénérescence cérébelleuse ou de la maladie de Parkinson. Ils ont calculé leur temps de réaction pour détecter une cible parmi le flux d'informations visuelles. Ils précisent que les prédictions temporelles peuvent être élaborées à partir d'une structure rythmique ou par les connaissances que l'on a sur l'intervalle grâce à une expérience antérieure. Les patients atteints de la maladie de Parkinson avaient des difficultés à former des prédictions temporelles à partir d'un flux rythmique régulier tandis que ceux ayant une atteinte du cervelet présentaient des difficultés pour les prédictions temporelles à partir d'un intervalle. Ils en concluent que les noyaux gris centraux jouent un rôle dans les prédictions basées sur le rythme tandis que le cervelet a davantage d'importance dans les mécanismes descendants fondés sur l'intervalle.

Dans une expérience menée auprès de sujets atteints de la maladie de Parkinson, Artieda et al. (1992) soulignent que l'on retrouve ce déficit de la discrimination temporelle dans les modalités tactile, auditive et visuelle. Les seuils de discrimination temporels dans la reconnaissance des stimuli sensoriels sont significativement augmentés dans chaque condition. Un traitement agoniste de la dopamine tel que la Levodopa diminue provisoirement ce déficit.

Comme nous l'avons vu précédemment, les prédictions temporelles sont en lien avec l'attention. Si celles-ci sont difficiles pour les patients atteints de la maladie de Parkinson, l'orientation attentionnelle l'est également. Tsuchiya et al. (2000) ont réalisé une expérience au cours de laquelle ils ont présenté des stimuli standards, cibles et nouveaux aux patients atteints de la maladie de Parkinson et aux sujets contrôles. Les résultats de l'étude montrent que les patients atteints de la maladie de Parkinson présentent une latence identique pour les stimuli cibles mais une augmentation de latence et une réduction de l'amplitude de l'onde P300 aux nouveaux stimuli. Cette altération est liée au dysfonctionnement frontal des personnes atteintes de la maladie de Parkinson. En effet, ces dernières obtiennent de mauvais résultats aux tests neuropsychologiques et une amplitude P300 réduite au niveau du cuir chevelu antérieur. Le lobe préfrontal joue donc un rôle capital dans la détection de la nouveauté. La baisse d'habituation, propriété essentielle de la réponse d'orientation, du P300 à de nouveaux stimuli au niveau antérieur montre que l'organisation frontale de l'attention est déficitaire chez les patients atteints de la maladie de Parkinson.

Les difficultés de perception temporelle retrouvées dans la maladie de Parkinson laissent penser que les sujets atteints présentent également des difficultés dans les mécanismes prédictifs impliqués dans la perception de la parole.

Etant donné que la maladie de Parkinson se caractérise par la dégénérescence des neurones dopaminergiques du striatum, nous pouvons nous interroger sur le fonctionnement du codage prédictif chez les patients atteints de la maladie de Parkinson dans le cadre de la perception de la parole.

.4. Buts et hypothèses

L'objectif de notre étude est d'examiner l'impact de la maladie de Parkinson sur les mécanismes prédictifs impliqués dans la perception auditive et audiovisuelle de la parole.

Compte tenu de l'atteinte des prédictions temporelles et des mécanismes prédictifs de la parole dus à la déplétion dopaminergique, il est légitime de supposer que la maladie de Parkinson altère les mécanismes prédictifs impliqués dans la perception de la parole. Notre hypothèse est que la maladie de Parkinson impacte la perception de la parole. Cela sera observable en ce qui concerne la latence et/ou l'amplitude des ERP auditifs. Nous faisons également l'hypothèse que les indices prédictifs présentés visuellement seront utilisés par les patients afin de compenser leurs difficultés lors de la perception. Dans la discussion de ce mémoire, nous nous concentrons sur les composantes précoces, à savoir P1, N1 et P2.

Revue de littérature et expérience EEG

Le travail réalisé dans ce mémoire consiste en deux parties : une revue de la littérature et une partie expérimentale. En effet, étant donné le peu d'études EEG qui existent à ce jour sur la perception de la parole dans la maladie de Parkinson et afin d'atteindre l'objectif de ce mémoire, nous avons dû faire une revue approfondie de la littérature sur l'impact de la maladie de Parkinson sur les ERP auditifs en plus de la partie expérimentale. La méthodologie et les résultats de ces deux parties sont présentés dans la suite.

.1. Revue de littérature

1.1. Méthode

Une approche systématique a été suivie pour résumer la littérature scientifique sur les ERP liés au traitement auditif dans la maladie de Parkinson selon la stratégie de recherche PICO.

Tout d'abord, nous avons effectué une recherche documentaire exhaustive dans plusieurs bases de données : MEDLINE (interface PubMed), Google Scholar, et The Cochrane Central Register of Controlled Trials (Central cochrane Library). Nous avons également étudié les bibliographies des articles afin d'inclure tout document répondant à nos critères de recherche. Notre stratégie de recherche comprenait des termes liés à la maladie de Parkinson comme « Parkinson's disease », « Parkinson » et des mots clés relatifs aux mesures électrophysiologiques du traitement auditif tels que « event-related potentials », « auditory », « N1-P2 complex » « EEG ». Les recherches ont été menées en français et en anglais. Nous pensions au début ajouter des filtres concernant les dates de publication mais compte tenu du faible nombre d'articles trouvés, nous avons volontairement omis ce paramètre. Nous avons mis fin aux recherches d'articles mi-février 2021.

Nous avons ensuite examiné les titres et les résumés des articles trouvés afin de sélectionner les études pertinentes. De nombreux articles ont été abandonnés car ils ne recouvraient pas l'ensemble des critères : il ne s'agissait pas d'études réalisées au moyen d'un électroencéphalogramme, les ERP décrits n'étaient pas auditifs, l'étude ne se consacrait pas à des patients atteints de la maladie de Parkinson. Au total, nous avons trouvé 14 articles répondant à ces critères.

1.2. Résultats

Le tableau ci-dessous reprend les résultats de chaque article étudié. Pour un tableau plus détaillé, se reporter aux annexes (cf. Annexe A2.).

	Auteurs	Année	Sujets	ERP	Tâche
1	Vieregge et al.	1994	14 MP (MP depuis 5 ans) avec Lévodopa (dont 8 avec bromocriptine) 16 C	N1 P3	Paradigme oddball : S'occuper des sons de l'oreille gauche pour les blocs 1 et 2 ; des sons de l'oreille droite pour les blocs 3 et 4 + appuyer sur un bouton en réponse à des cibles

2	Karayani- dis et al.	1995	Age group : 60 (Jeune : 20- 39ans ; Moyen : 40-59ans ; Agés : 60- 76ans) MP groupe : 22 : 16 MP ; 15 C	P1, P3	Tâche d'attention auditive avec une présentation dichotique de séquences de tons : Appuyer sur un bouton avec la main appropriée quand ils entendent un son déviant
3	Wright et al.	1996	17 MP non déments avec ttmt (sauf 2) 28 C	N1, N2, P2, P3	Paradigme oddball : Tâche de comptage Tâche de temps de réponse : appuyer sur un bouton en cas de son cible
4	Philipova et al.	1997	17 MP non déments (ttmt dopaminergique) 17 C	N1, P2, N2, P3	Séries passives : ignorer les 20 stimuli auditifs Compter silencieusement les 20 sons graves et les 30 aigus
5	Sohn et al.	1998	37 MP (19 sans ttmt, 18 Ldopa) 15 C	P3	Paradigme oddball : compter mentalement les points sonores cibles à faible probabilité entrecoupés de points sonores non cibles plus courants
6	Jiang et al.	2000	12 MP non déments 9 C	N1 P3	Paradigme oddball : compter le nombre de stimuli rares sans appuyer sur un bouton
7	Prabhakar et al.	2000	25 MP 25 C	P3	Paradigme oddball : compter les stimuli rares
8	Katsarou et al.	2004	45 MP (depuis 6.1 ans sans démence, avec ttmt dopaminergique) 40 C	N1, P2, N2, P3	Paradigme oddball : compter les tonalités cibles en silence et indiquer le nombre total à la fin de la série
9	Matsui et al.	2007	40 MP (27 avec et 13 sans démence)	P3	Paradigme oddball : compter silencieusement les sons de taux différant des autres par leur hauteur (2000 Hz) et se produisant de manière aléatoire parmi les événements non ciblés (1000 Hz)
10	Georgiev et al.	2015	14 MP 13 C	P3	Paradigme oddball : compter mentalement le nombre de stimuli cibles et donner le nombre à la fin de la tâche
11	Annamaki et al.	2017	18 MP (13 avec ttmt) 24 C	N1 P2	Ecoute passive de tonalités de 40 stimuli auditifs pendant un film silencieux
12	Heldmann et al.	2019	20 MP 20 C	P3	Tâche de discrimination visuelle difficile (détecter un petit carré dans une série de grands carrés apparaissant successivement) et écoute passive de tonalités
13	Yilmaz et al.	2019	20 MP avec déficience cognitive 21 MP sans déficience cognitive 20 C	P3	Paradigme oddball : compter silencieusement les tonalités cibles en donnant le total à la fin (2 blocs de 30 cibles)
14	De Keyser et al.	2021	14 MP non déments 14 C	P1, N1, P2	Tâche automatique = traiter des stimuli auditifs en regardant une vidéo silencieuse

Quelques abréviations pour une meilleure compréhension des termes du tableau :

Ttmt = traitement

MP = Malade / Maladie de Parkinson

C = contrôle

Dans la suite du mémoire, nous présentons les résultats en fonction de la composante étudiée.

P1

Une seule étude mentionne explicitement la composante P1. L'expérience De Keyser et al. (2021) montre une absence de changement entre les deux groupes pour P1.

N1

Les résultats des études divergent quant à l'onde N1. C'est ce que révèle la revue de littérature de Ruzicka et Massioui (1993). Katsarou et al. (2004) ne relèvent aucune différence entre les deux groupes, tout comme De Keyser et al. (2021) entre le groupe de patients atteints de la maladie de Parkinson et le groupe contrôle. Dans certaines études, la latence est identique entre les groupes (Philipova et al., 1997; Vieregge et al., 1994). Pour Annanmaki et al. (2017), ce résultat est étonnant car la composante N1 montre la détection du stimulus et représente une mesure des mécanismes pré-attentionnels en lien avec la mémoire de travail dans la mesure où la composante N1 oriente l'attention vers les stimuli significatifs et bloque ceux qui sont redondants (Lee et al., 2010 ; cités par Annanmaki et al., 2017). D'autres auteurs mettent en évidence un allongement de la latence (Annanmaki et al., 2017; Wright et al., 1996) et une réduction de l'amplitude du potentiel N1 chez les sujets atteints de la maladie de Parkinson bénéficiant d'un traitement par rapport aux sujets sains (Annanmaki et al., 2017; Karayanidis et al., 1995; Philipova et al., 1997; Wright et al., 1996). Cela témoigne d'une déficience du traitement auditif précoce en lien avec les altérations du lobe frontal rapportées dans des études neuropsychologiques de la maladie de Parkinson (Jiang et al., 2000; Wright et al., 1996). En effet, les générateurs de la composante N1 sont supposés se trouver dans le cortex auditif et éventuellement dans les zones frontales : ce dysfonctionnement de N1 peut être en lien avec une anomalie de l'entrée neuronale du mésencéphale au lobe frontal (Jiang et al., 2000). La comparaison des sujets atteints de la maladie de Parkinson avec et sans traitement de De Keyser et al. (2021) montre une latence plus rapide et une amplitude augmentée chez les patients sans médication : cela reflèterait une meilleure détection du signal auditif lorsque les patients sont évalués sans traitement dopaminergique.

P2

La littérature fournit également des résultats hétérogènes pour le potentiel P2. La revue de littérature de Ruzicka et Massioui (1993) ainsi que Philipova et al. (1997) n'observent pas de différence de latence entre les patients et les sujets sains contrairement à Wright et al. (1996) pour qui elle est augmentée. Katsarou et al. (2004) et Wright et al. (1996) ne rapportent pas de différence d'amplitude. Philipova et al. (1997) relèvent une amplitude plus faible chez les personnes atteintes de la maladie de Parkinson tandis que De Keyser et al. (2021) notent une augmentation de l'amplitude chez les sujets malades bénéficiant d'un traitement par rapport à ceux qui n'en ont pas ou par rapport au groupe contrôle. Cela manifeste le dysfonctionnement des sujets atteints de la maladie de Parkinson dans le retrait de l'allocation attentionnelle dans le paradigme oddball : l'amplitude de la composante P2 semble augmentée pour les stimuli déviants (De Keyser et al., 2021). La composante P2 étant associée au traitement conscient des stimuli (Annanmaki et al., 2017), les résultats suggèrent donc un déficit du traitement auditif en lien avec un traitement inhibiteur précoce top-down (De Keyser et al., 2021).

N2

Les auteurs s'accordent davantage pour la composante N2 : l'amplitude est la même pour les deux groupes (Katsarou et al., 2004; Wright et al., 1996). Au niveau de la latence, elle est identique dans certaines études (Ruzicka & Massioui, 1993; Wright et al., 1996). Dans d'autres expériences, la latence est allongée chez les sujets atteints de la maladie de Parkinson : ils ont besoin de plus de temps pour catégoriser les stimuli (Wright et al., 1996) ainsi que pour discriminer et évaluer les signaux (Philipova et al., 1997).

P300

Le potentiel P3 a été l'objet de nombreuses études. Seuls Vieregge et al. (1994) ne mentionnent aucune différence ni de latence ni d'amplitude et évoquent un déficit spécifique de l'attention auditive. Philipova et al. (1997) observent une latence identique entre les deux groupes, à la différence de la plupart des auteurs (Jiang et al., 2000; Katsarou et al., 2004; Matsui et al., 2007; Ruzicka & Massioui, 1993; Wright et al., 1996) pour qui cette dernière est augmentée. Ce délai atteste des changements cognitifs subtils qui s'opèrent au niveau frontal (Katsarou et al., 2004) et de l'impact de l'attention et de l'âge sur la composante P300 (Matsui et al., 2007). Sohn et al. (1998) soulignent que le déficit en dopamine contribue au déficit du P300 : la latence de l'onde P300 chez les malades parkinsoniens avec traitement est plus longue que chez les contrôles mais elle est plus courte que chez les malades parkinsoniens sans médicament. Cette latence diminue après un traitement dopaminergique de 6 à 12 mois. Prabhakar et al. (2000) obtiennent cependant une augmentation de la latence après 6 mois de traitement.

Concernant l'amplitude, Wright et al. (1996) ne constatent pas de différence. Elle est réduite dans plusieurs études (Jiang et al., 2000; Karayanidis et al., 1995; Philipova et al., 1997; Yilmaz et al., 2017), ce qui reflète un dysfonctionnement dans l'activation du lobe frontal (Jiang et al., 2000; Philipova et al., 1997) et de l'hippocampe (Jiang et al., 2000). L'examen du P300 serait un outil de diagnostic de troubles cognitifs dans la maladie de Parkinson (Yilmaz et al., 2017). On remarque une augmentation de l'amplitude P3 en cours de médication par rapport à la fin de traitement, signe de la spécificité de l'effet du traitement dopaminergique sur le traitement cognitif (Georgiev et al., 2015; Yilmaz et al., 2017). Pour Heldmann et al. (2019), cette importance de la composante positive reflète la distractibilité des sujets atteints de la maladie de Parkinson par rapport aux contrôles en raison du traitement dopaminergique qui favorise la flexibilité mentale.

Cette revue de littérature met donc en évidence des modifications des ERP précoces et tardifs, témoignant des changements liés au traitement auditif précoce et au fonctionnement cognitif des patients atteints de la maladie de Parkinson.

.2. Partie expérimentale

Nous avons ensuite mené notre expérimentation à la lumière des données de la littérature scientifique étudiée dans la partie précédente. Il s'agit de la manipulation et du traitement des ERP issus de l'électroencéphalogramme d'un patient atteint de la maladie de Parkinson.

2.1. Participants

Notre étude consiste en une analyse d'un cas clinique. Le projet initial consistait en une passation d'électroencéphalogramme à une vingtaine de patients. Les sujets atteints de la maladie de Parkinson auraient été recrutés dans le service neurologie du CHR de Lille du Docteur Moreau mais en raison de la pandémie de COVID-19, nous nous sommes vue contrainte d'adapter notre méthodologie.

Nous avons analysé les données issues de l'électroencéphalogramme d'un patient atteint de la maladie de Parkinson recruté par Marie Guépin dans le cadre de son mémoire « L'impact de la maladie de Parkinson sur les mécanismes prédictifs impliqués dans la perception audiovisuelle de la parole » (2020) et par Tom Guichoux. Ils ont appliqué la même méthodologie que celle utilisée dans l'étude de Pinto et al. (2019).

Le sujet de notre étude est une femme âgée de 69 ans. Le diagnostic de la maladie de Parkinson a été posé en 2011 et aucune prise en soin orthophonique n'a été mise en place. Les premiers symptômes de la maladie se sont manifestés à gauche. La patiente obtient un score dans la norme au MoCA (Echelle d'évaluation cognitive de Montréal ; Nasreddine et al., 2005). D'après le questionnaire de latéralité manuelle d'Edinburgh (Oldfield, 1971), elle est droitère. Elle ne se plaint d'aucune difficulté de parole mais le score à la grille perceptive de la BECD (Batterie d'Evaluation de la Dysarthrie ; Auzou et Rolland-Monnoury, 2006) souligne une perte très légère au niveau de l'intensité de la voix, visible pour un interlocuteur averti. Il convient de souligner que la participante est en état « ON » dans son traitement médicamenteux lors de la passation.

Le groupe de référence de cette étude est composé de 17 personnes non malades, 8 femmes et 9 hommes d'un âge moyen de 67 ans et d'une scolarité moyenne de 15 ans (3,5 Ecart-Types). Ils ont suivi le même protocole expérimental au laboratoire LPL d'Aix-en-Provence.

L'avis favorable du Comité d'Ethique de l'Université de Lille a été reçu pour la réalisation de cette expérience.

2.2. Stimuli

Les enregistrements utilisés ont été réalisés par trois francophones et sont composés d'une numérisation audio et d'une numérisation visuelle des syllabes /pa/, /ta/ et /ka/, choisies pour leur gradient de saillance visuo-labiale (le phonème bilabial /p/ est plus saillant visuellement que les phonèmes apico-dental et vélaire /t/ et /k/). La numérisation vidéo consiste en 25 images par seconde avec une résolution de 720x576 pixels ; la numérisation audio a été réalisée avec un enregistrement de quantification de 16 bits à 44.1 kHz. Un ensemble de neuf syllabes a été retenu avec des syllabes /pa/, /ta/ et /ka/ clairement articulées pour chaque enceinte.

Cent huit films (3 locuteurs x 12 conditions x 3 syllabes) d'une longueur de 35 images, soit 1400 secondes, ont été créés à partir de neuf syllabes /pa/, /ta/ et /ka/, présentées selon trois modalités (auditive, visuelle et audiovisuelle) et sous quatre conditions (contrôle, when, what, what-when). Chaque vidéo a été répétée huit fois, ce qui donne un total de 864 essais (108 films x 8 répétitions). Les indices prédictifs visuels utilisés désignent le contenu « what » de la syllabe et/ou le moment « when » d'apparition de la syllabe. Tous les stimuli ont été normalisés selon

le critère commun d'amplitude maximale. Les stimuli audiovisuels, élaborés en premier, ont servi de base aux stimuli auditifs et visuels.

Les stimuli ont été présentés aux sujets selon les trois modalités suivantes : auditive (A), visuelle (V), et audiovisuelle (AV). Un stimulus auditif est une syllabe présentée en même temps qu'une image d'une bouche en position neutre. Un stimulus visuel consiste en un mouvement visuel de la bouche sans son. Le stimulus audiovisuel commence par une image de la bouche en position neutre, puis le sujet voit un mouvement de la bouche avant d'entendre la syllabe.

L'expérience comprend au total douze conditions liées aux trois modalités de présentation (A, V, AV) et aux quatre conditions faisant appel ou non aux mécanismes prédictifs (contrôle, when, what, what-when) : contrôle (A, V, AV), when (Awhen, Vwhen, AVwhen), what (Awhat, Vwhat, AVwhat) et what-when (Awhat-when, Vwhat-when, AVwhat-when). Pour chaque condition, on a présenté les symboles orthographiques « ## » et une ligne de temps statique pendant les quinze premières images. Pour les cinq dernières images, aucun indice visuo-orthographique et aucune ligne visuelle n'ont été montrés. La condition « when » consiste en une ligne visuelle mobile marquant le début de la syllabe et la condition « what » en un repère visuo-orthographique. Ces deux repères sont présents lors de la condition « what-when ». Dans la condition contrôle, on ne présentait pas de prédiction sur la syllabe acoustique mais les symboles orthographiques « ## » et la ligne de temps statique pendant les quinze images suivantes.

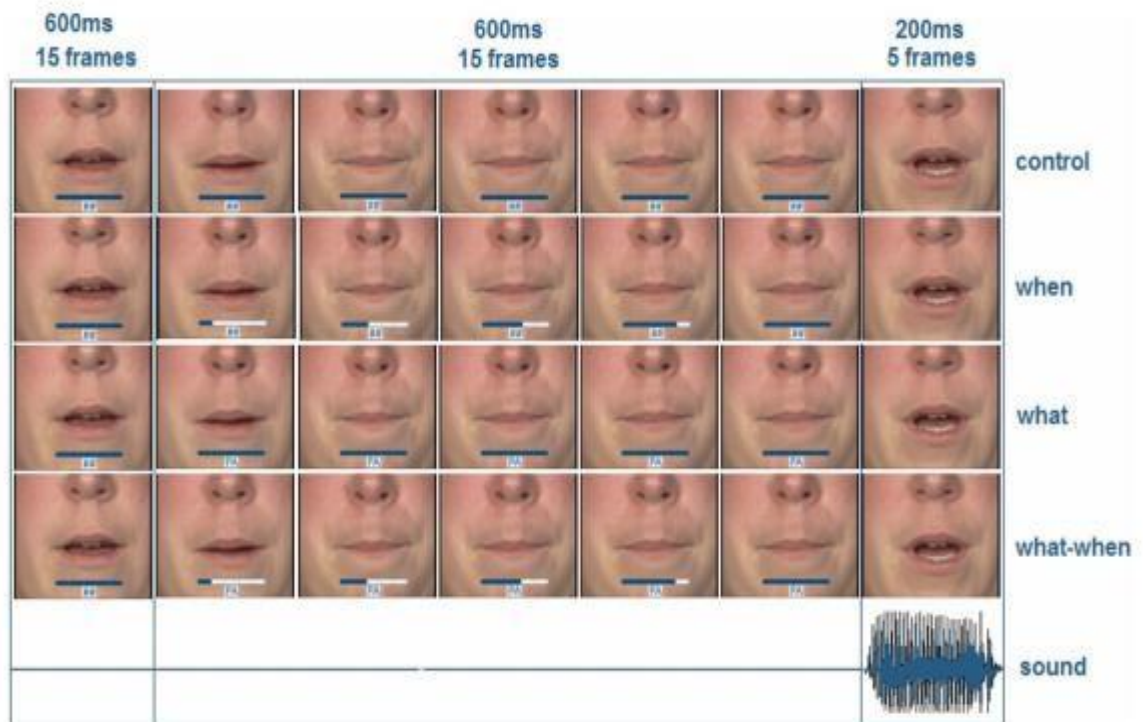


Fig. 2 Illustration des 4 conditions de prédiction (control, when, what, what-when) pour la syllabe /pa/ en modalité audiovisuelle. Figure adaptée de Pinto et al., (2019).

2.3. Procédure

Les passations se sont déroulées au laboratoire SCALab dans une pièce insonorisée.

Tout d'abord, le lieu et le matériel utilisé lors de l'expérimentation ont été présentés aux participants. Un code d'anonymisation leur a été attribué puis leur dossier a été vérifié afin de compléter les informations manquantes. Un questionnaire ainsi que la MoCA (Echelle d'évaluation cognitive de Montréal ; Nasreddine et al., 2005) leur ont été proposés. Le protocole expérimental leur a été expliqué à l'aide de la fiche photos et de vidéos et le bonnet ainsi que les électrodes ont été installés. Pendant la pose des électrodes, le participant pouvait lire la lettre d'information et le formulaire de consentement si cela avait été oublié. On a posé les neuf électrodes sur le cuir chevelu des sujets, notamment sur la région fronto-centrale largement impliquée dans le traitement audiovisuel de la parole (Pinto et al., 2019 ; Van Wassenhove et al., 2005). Le système Biosemi Active Two Système EEG AD-box fonctionnant à une fréquence d'échantillonnage de 512 Hz a été utilisé. Deux électrodes supplémentaires ont servi d'électrodes de masse et une électrode de référence était placée sur le nez. On a enregistré les mouvements oculaires à l'aide d'électrodes placées sur le canthus externe, au-dessus et en-dessous de l'œil droit.

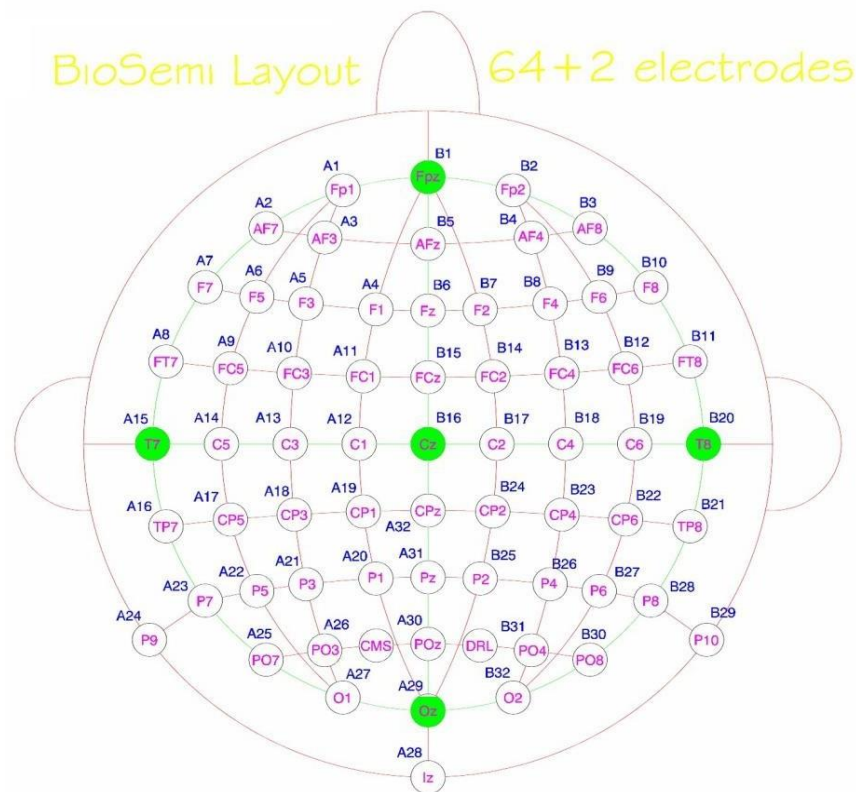


Fig. 3 Illustration de la pose des électrodes lors d'un EEG.

Les participants étaient assis devant un ordinateur, à 50 cm de l'écran sur lequel ils pouvaient voir les films défiler. Des haut-parleurs, réglés à la même intensité pour tous les participants, ont fourni les informations auditives. Ils ont dû identifier la syllabe qu'on leur a présentée. Pour cela, ils ont répondu en appuyant sur une touche du clavier avec leur main gauche, seulement après avoir entendu une courte stimulation auditive et vu un sigle à l'écran

afin de distinguer les réponses perceptuelles et motrices sur l'EEG. On a précisé aux participants qu'ils devaient veiller à tous les repères visuels tels que les mouvements articulatoires, la syllabe orthographique écrite, la ligne de temps et que ces repères sont toujours congruents. L'expérience était composée de 864 essais d'ordre pseudo-aléatoire avec 72 essais dans les 12 conditions ($72 \times 12 = 864$), espacés à intervalle fixe. L'expérience d'environ 45 minutes était divisée en plusieurs sessions de durée égale séparées par des pauses.

Après avoir administré le test, le test de latéralité manuelle a été proposé et l'audition a été vérifiée par un test d'audiométrie tonale. On a récupéré les informations relatives à une éventuelle prise en soin orthophonique avant de remplir la grille perceptive de la BECD (Batterie d'Evaluation Clinique de la Dysarthrie ; Auzou et Rolland-Monnoury, 2006).

2.4. Analyse des résultats

Nous avons ensuite analysé les données récoltées à l'aide de l'EEG.

Les analyses ont été effectuées avec le logiciel Octave et le toolbox EEGLab à partir des scripts utilisés par Pinto et al. (2019). Les données EEG ont ainsi fait l'objet d'un filtrage de passe-bande : un passe-haut de (3 Hz - 30 Hz) a permis d'éliminer les artefacts. Les essais contaminés par des artefacts ont été rejetés. En effet, l'EEG enregistre aussi les tensions provoquées par un clignement d'œil ou par des sources non naturelles, ce qui déforme les ondes ERP obtenues. Nous avons calculé les moyennes par condition (what, when, what-when et contrôle) et par modalité (A, V, AV). Nous avons ensuite effectué des graphiques pour chaque condition et chaque modalité. Nous avons analysé la latence et l'amplitude de chaque composante selon des fenêtres temporelles fixes définies par Pinto et al. (2019) (P1 : 25-100ms ; N1 : 70-150ms ; P2 : 150-250ms).

.3. Résultats

Nous présentons nos résultats sous forme de graphiques représentant l'activité électrique du cerveau par rapport au temps (en millisecondes). Nous nous intéressons particulièrement aux courbes croisées, c'est-à-dire à l'activité du cerveau dans chaque condition et dans chaque modalité.

3.1. EEG : perception auditive de la parole

Nous nous sommes d'abord intéressée aux ERP P1, N1 et P2 obtenus en modalité auditive, c'est-à-dire sur présentation orale d'une syllabe en même temps qu'une image de bouche en position neutre.

La figure 4 représente les ERP P1, N1 et P2 en modalité auditive dans les conditions contrôle et avec les indices prédictifs « what », « when » ou « what-when ». D'une manière générale, l'indice « what-when » a engendré l'amplitude la plus importante pour les composantes P1 et P2. Si on se penche plus spécifiquement sur chacune des composantes, nous obtenons les résultats suivants :

- P1 : on remarque un effet principal de l'indice prédictif « when » avec une

amplitude plus faible en sa présence

- N1 : l'amplitude négative de N1 était la plus faible en l'absence de prédiction et la plus élevée avec la prédiction « what ».
- P2 : on note un effet principal du « what » : l'amplitude positive était plus faible en présence de l'indice « what » qu'en son absence (situation contrôle).

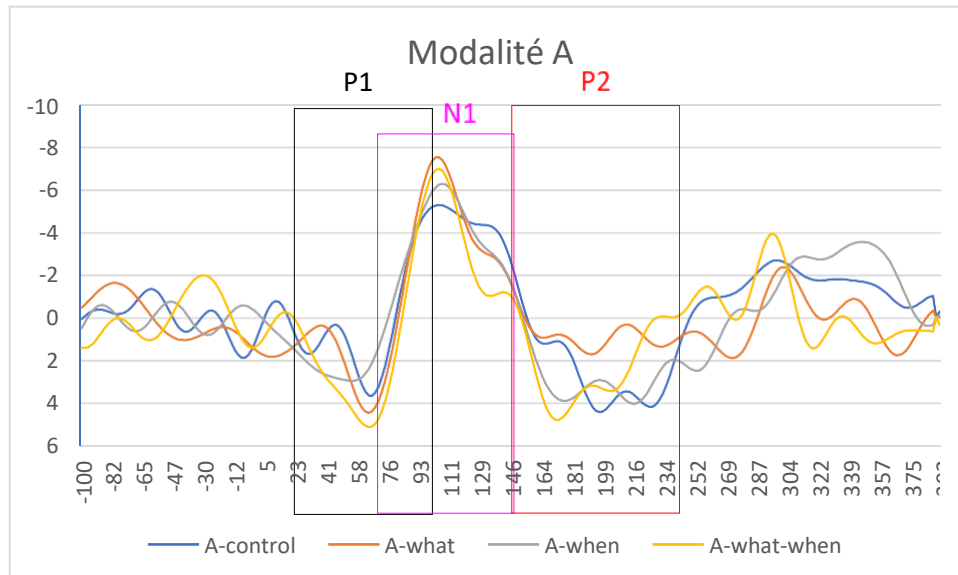


Fig. 4 Composantes P1, N1 et P2 en modalité auditive selon les différentes conditions (contrôle, « what », « when », « what-when »).

Pour P1 et P2, la latence était la plus précoce en présence de l'indice « what-when » et la plus tardive en présence de « when ». On ne relève pas d'impact des indices sur la latence pour la composante N1.

3.2. EEG : perception audiovisuelle de la parole

Nous avons ensuite étudié les ERP P1, N1 et P2 recueillis en modalité audiovisuelle, c'est-à-dire sur présentation orale d'une syllabe accompagnée d'un film d'une bouche en mouvement.

La figure 5 représente les ERP P1, N1 et P2 en modalité audiovisuelle dans les conditions contrôle et avec les indices prédictifs « what », « when » ou « what-when ». Pour chacune des composantes, nous obtenons les résultats suivants :

- P1 : nous relevons que l'amplitude est la plus importante en condition « what » et la plus faible en condition « when ».
- N1 : de même qu'en modalité auditive, l'indice « what-when » a engendré l'amplitude la plus importante pour la composante N1. Contrairement à P1, on observe un effet du « what » avec une amplitude négative plus faible en présence de cet indice.
- P2 : On note également un effet de l'indice « what-when » sur l'amplitude de P2 qui est alors la plus faible. La condition « what » réduit plus fortement encore son amplitude. Contrairement à P1, l'indice « when » augmente l'amplitude de

P2.

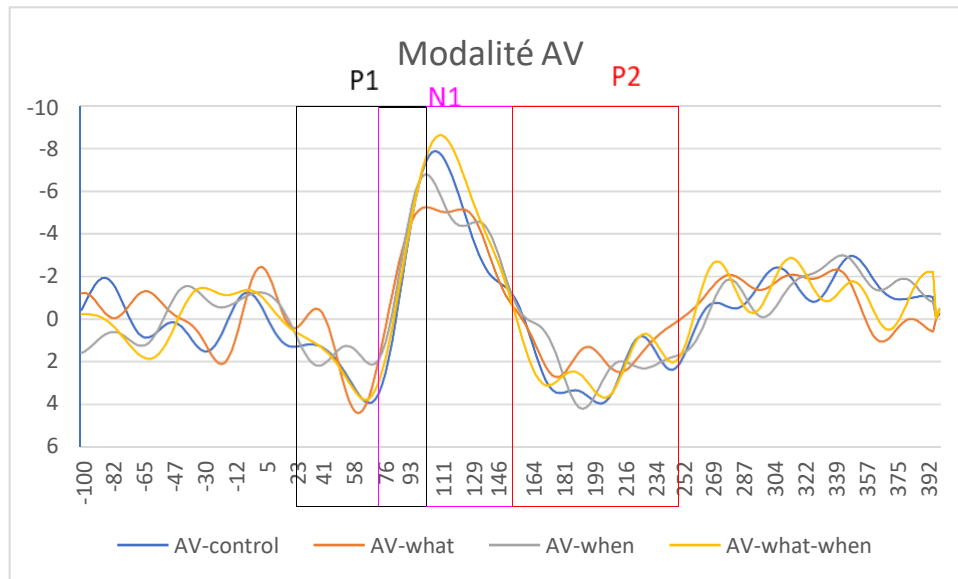


Fig. 5 Composantes P1, N1 et P2 en modalité audiovisuelle selon les différentes conditions (contrôle, « what », « when », « what-when »).

La latence de P1 et P2 était plus précoce en condition « what-when » et plus tardive en condition « when ». On ne relève pas d'impact des indices sur la latence pour la composante N1.

Discussion

Le but de notre étude était d'examiner l'impact de la maladie de Parkinson sur les mécanismes prédictifs impliqués dans la perception de la parole. Nous avons utilisé des informations visuelles donnant des précisions sur le contenu phonétique de la syllabe (« what »), le moment de son apparition (« when ») ainsi que sur ses caractéristiques articulatoires (« what-when »). Nous pensons que les effets de la maladie sur les mécanismes prédictifs impliqués dans la perception de la parole seraient reflétés par l'amplitude et la latence des ERP auditifs. Une autre hypothèse était que les indices prédictifs visuels seraient utilisés par les patients pour compenser leurs difficultés de perception.

Il est capital de rappeler que nos observations ne portent que sur un seul patient et que nous avons suivi la méthodologie d'analyse que nous aurions appliquée au groupe de sujets atteints de la maladie de Parkinson si le contexte l'avait permis. Il s'agit davantage de tendances observées et non de résultats de tests statistiques.

.1. Discussion des résultats

Dans cette partie, nous allons discuter des résultats obtenus pour chacune des composantes P1, N1 et P2.

Comme indiqué précédemment, P1 est un ERP obtenu très tôt lors du traitement perceptuel auditif car il est lié aux caractéristiques physiques du stimulus (Getzmann et al., 2014). De Keyser et al. (2021) n'ont pas relevé de différence entre le groupe contrôle et les patients atteints de la maladie de Parkinson concernant P1. Ils soulignent que cette composante est associée à l'éveil pré-attentif auditif. Il est donc cohérent que la prédiction « when » indiquant visuellement le moment d'apparition du stimulus diminue l'amplitude de P1 : elle constitue une aide dans la mesure où elle oriente l'attention et permet d'anticiper le moment d'arrivée de la syllabe. L'indice temporel est bénéfique au sujet atteint de la maladie de Parkinson qui peut ainsi compenser ses difficultés d'orientation attentionnelle.

La composante N1 reflète les mécanismes pré-attentionnels de détection du stimulus (Annamaki et al., 2017). Elle est considérée comme une mesure de l'état général du sujet et de sa capacité à discriminer les stimuli et à sélectionner les caractéristiques du stimulus (Wright et al., 1996, p. 14). Jiang et al. (2000) l'associent à des facteurs exogènes et endogènes tels que l'analyse des caractéristiques du stimulus : N1 est modulé par l'intensité du son et l'intervalle temporel entre les essais (Baart, 2016). Dans son étude, Baart (2016) étudie la modulation de l'amplitude de N1 par les informations phonétiquement congruentes issues de la lecture labiale : l'amplitude de la composante est « supprimée ». On peut établir un rapprochement entre ces informations visuelles labiales et notre indice prédictif « what » indiquant le contenu phonétique de la syllabe présentée. En effet, de même que la lecture labiale diminue l'amplitude de N1, nous obtenons dans notre étude l'amplitude la plus faible en condition « what » en modalité audiovisuelle. Il est intéressant de faire le lien avec le phénomène d'habituation qui peut être défini comme « une diminution de l'ampleur ou de la probabilité d'une réponse lors de la répétition du stimulus déclencheur » (Picton et al., 1976), comme dans les tâches du paradigme « oddball ». La baisse d'amplitude de N1 est interprétée comme une caractéristique de l'habituation (Crowley & Colrain, 2004). Annanmkai et al. (2017) remarquent une baisse de l'habituation de l'amplitude de N1 qu'ils corrént à une déficience de la mémoire de travail visuelle dans la maladie de Parkinson. Si la tendance selon laquelle l'indice visuel « what » diminue l'amplitude de N1 se confirme dans la poursuite de l'étude avec plus de participants, cela suggèrera que cette prédiction fournit une aide au sujet atteint de la maladie de Parkinson : elle l'aide à compenser ce déficit en soulageant sa mémoire de travail.

De plus, nous nous attendions à une suppression de N1 avec la prédiction « when » mais nous ne retrouvons cet effet ni en modalité auditive, ni en modalité audiovisuelle. En effet, une étude de Lange (2009) montre que le pic N1 est diminué par les attentes temporelles. Stekelenburg et Vroomen (2012) ajoutent que les indices prédictifs visuels peuvent prédire la localisation du stimulus auditif car « l'origine d'un son correspond généralement à l'emplacement du signal visuel ». Ils montrent ainsi que la suppression est plus importante pour les stimuli audiovisuels spatialement congruents qu'incongruents : cette diminution de l'onde N1 est moins importante quand la localisation auditive n'est pas cohérente avec la localisation prédite.

On pouvait s'attendre à une majoration de la réduction de l'amplitude de N1 avec la combinaison des deux indices, c'est-à-dire avec la prédiction « what-when ». Cependant, ce dernier engendre l'amplitude N1 la plus importante en modalité audiovisuelle. L'étude de van Laarhoven et al. (2021) montre que la suppression de N1 était la plus importante en présence des prédictions temporelles et identitaires. Ils ont présenté des stimuli visuels, auditifs et

audiovisuels de coups de mains (mouvements et sons de mains qui se frappent) selon trois conditions : une condition naturelle, une condition de synchronisation aléatoire et une condition d'identité aléatoire. En modalité audiovisuelle, la première condition consistait en une vidéo d'un coup de main présentée de manière synchrone avec le son. Dans la synchronisation aléatoire, le son pouvait précéder ou suivre le coup de main visuel. Lors de la dernière condition, la vidéo a été présentée en même temps qu'un son environnemental choisi au hasard parmi une banque de 100 sons. La suppression de N1 était moins importante lorsque le moment ou l'identité des sons étaient imprévisibles. Cela souligne le rôle combiné des prédictions « what-when » dans la perception audiovisuelle. Les chercheurs distinguent les sous-composantes de N1 : N1a reflète le traitement auditif dans le cortex primaire, N1b dans le cortex auditif secondaire et N1c, appelé « composant non spécifique », révèle la réponse d'orientation. Les effets de suppression étaient restreints à la sous-composante N1b. Cela indique que la réduction de l'amplitude de N1 par un mouvement visuel n'est pas due à une différence d'orientation. Elle révèle une baisse des réponses sensorielles due à une correspondance entre le stimulus auditif bottom-up et les mécanismes de codage prédictif interne. Si, dans la suite de notre étude, une différence entre les deux groupes se manifeste, cela pourrait refléter un dysfonctionnement de ces mécanismes chez notre sujet atteint de la maladie de Parkinson.

L'onde N1 est fortement liée aux mécanismes pré-attentionnels. Dans une étude, Alsius et al. (2005) démontrent que l'attention a un rôle capital dans le traitement neural de la perception audiovisuelle de la parole. Ils ont présenté des syllabes auditives, visuelles et audiovisuelles aux participants. Ces dernières associent des stimuli auditifs et visuels incongruents afin de provoquer un effet McGurk. En double tâche, les participants devaient identifier les syllabes entendues tout en cherchant des cibles parmi des informations visuelles ; en tâche unique, ils devaient simplement identifier les syllabes. L'effet McGurk était moins important en double tâche et la latence de N1 facilitée en tâche unique. Cela montre un effet de la charge attentionnelle sur la perception de la parole audiovisuelle : une attention réduite diminue l'interaction entre vision et audition dans la parole. Il serait intéressant d'observer si dans la suite de notre étude avec plus de participants, il existe une facilitation de latence comme nous nous attendions à le constater d'après la recherche menée par Pinto et al. (2019), notamment en présence des prédictions visuelles temporelles. Nos résultats montrent des latences similaires, c'est-à-dire aucun impact des indices sur une éventuelle facilitation de latence. C'est ce que des travaux récents retrouvent : De Keyser et al. (2021) ne montrent aucune différence de latence du N1 entre le groupe de sujets atteints de la maladie de Parkinson et le groupe contrôle. Baart (2016) explique que l'on ne retrouve pas systématiquement cet effet de latence parce que les paramètres visuels ne se limitent pas seulement au phonème initial ; ils prennent également en compte d'autres composantes telles que la qualité des enregistrements, la taille du visage du locuteur ou ses particularités phonologiques. De plus, si la tendance observée concernant l'augmentation de l'amplitude de N1 en présence de l'indice « what-when » se confirme dans la poursuite de l'étude avec plus de participants, cela pourrait témoigner de la surcharge attentionnelle des personnes atteintes de la maladie de Parkinson. Elles ne peuvent allouer toutes leurs ressources aux différents indices car leur attention est saturée, en particulier au niveau visuel. Nous pourrions interpréter ainsi le fait que l'indice « what » provoque la suppression de N1 la plus importante en modalité audiovisuelle : les patients se concentrent seulement sur le contenu phonétique de la syllabe. Leurs ressources pré-attentionnelles sont disponibles et leur mémoire de travail soulagée.

L'onde P2 dépend de la prévisibilité phonétique de l'entrée visuelle de la parole (Pinto et al., 2019). Comme dans notre étude l'indice « what » indique le contenu phonétique de la syllabe présentée, il est cohérent que nous trouvions une amplitude plus faible avec cette prédiction. Une étude prouve que la diminution de l'amplitude de la composante P2 audiovisuelle traduit la liaison audiovisuelle, c'est-à-dire la modulation du P2 auditif en fonction de l'entrée visuelle de la lecture labiale quand les deux stimuli sont associés à la même syllabe (Baart et al., 2014). Annanmaki et al. (2020) soulignent que cet ERP est chargé du traitement conscient du stimulus. En effet, il correspond à la catégorisation du stimulus et est en lien avec les processus attentionnels, d'apprentissage perceptif et mnésiques (Arnott et al., 2011; Paiva et al., 2016; Tremblay et al., 2009). Cet ERP active les régions frontales qui sont impliquées dans le tri entre les informations pertinentes ou non (Crowley & Colrain, 2004), à savoir l'inhibition. Ainsi, dans leur étude, Amenedo et Diaz (1998) obtiennent une diminution de l'amplitude P2 au sein de la tâche chez les jeunes participants et une stabilité de l'amplitude chez les sujets plus âgés. Cela témoigne d'une habitude de la réponse des plus jeunes aux stimuli non ciblés et d'un déficit de cette habitude chez les plus âgés. Cette constatation est à mettre en lien avec la composante attentionnelle : avec l'âge, les participants ont davantage de difficulté à retirer leur attention des stimuli ne nécessitant qu'une attention plus lointaine. Les auteurs en concluent que l'inhibition provoquée par des stimuli non cibles est déficiente chez les sujets plus âgés. De Keyser et al. (2021) ont étudié ces processus chez les personnes atteintes de la maladie de Parkinson. Ils ont présenté 500 tons purs de durée et intensité variables à des sujets contrôles et atteints de la maladie de Parkinson. Il s'agissait d'une tâche automatique : les participants devaient traiter des stimuli auditifs tout en regardant une vidéo silencieuse. Les chercheurs ont obtenu une onde P2 plus importante chez les sujets atteints de la maladie de Parkinson avec traitement par rapport à ceux sans traitement et aux sujets contrôles. Ils interprètent ce résultat comme un dysfonctionnement du retrait de l'allocation attentionnelle vers des stimuli. Ce déficit du traitement auditif est lié au dysfonctionnement de l'inhibition précoce top-down. Les auteurs avancent qu'un mécanisme compensatoire pourrait être l'augmentation de l'allocation attentionnelle.

Getzmann et al. (2014) trouvent également une amplitude davantage réduite en présence d'indices linguistiques pour P2. Ce n'est pas pour autant qu'ils affirment que ces derniers demandent moins d'attention car lorsque l'attention d'un sujet augmente, cela se traduit par une augmentation de l'amplitude de N1 et par une diminution de celle de P2 (Crowley & Colrain, 2004). Getzmann et al. (2014) attribuent cette baisse d'amplitude au chevauchement de P2 et du complexe négatif composé de N2 et N400, observé seulement après des indices linguistiques. En effet, N2 reflète les mécanismes d'inhibition et d'attention, en particulier l'allocation de l'attention aux stimuli nouveaux et N400 témoigne du traitement des stimuli significatifs liés au langage.

Il sera intéressant d'étudier si la tendance observée, à savoir l'augmentation de l'amplitude P2 en présence de l'indice « when », se confirme dans la poursuite de l'étude avec plus de participants. Cette constatation rejoint les observations mentionnées plus haut car cette prédiction n'apporte aucune information phonétique. De plus, des travaux montrent que les sujets atteints de la maladie de Parkinson utilisent différemment les informations temporelles par rapport aux sujets contrôles. En effet, la dopamine joue un rôle capital dans le traitement et les prédictions temporelles (Coull et al., 2011). Celles-ci sont étroitement liées à l'attention

sélective (Nobre & van Ede, 2018). Les personnes atteintes de la maladie de Parkinson présentent des difficultés dans les tâches de discrimination et estimation temporelles. On pouvait donc s'attendre à ce que l'indice « when » annonçant l'arrivée de la syllabe ne soit pas la prédiction qui entraîne la baisse d'amplitude de P2 la plus significative.

En modalité auditive, nous observons que l'amplitude de P2 est la plus importante avec l'indice « what-when » et la plus faible avec l'indice « what ». Ces résultats rejoignent ceux de l'étude de Pinto et al. (2019) : la prédiction « what » joue un rôle prépondérant par rapport à la prédiction « when », c'est-à-dire que les informations phonétiques induisent une suppression plus importante de P2 que les indices temporels. Le fait que la combinaison des deux indices entraîne un pic plus élevé traduit une surcharge attentionnelle.

Il est intéressant de se pencher sur la latence de P2. D'après les résultats de Pinto et al. (2019), nous nous attendions à obtenir une latence augmentée en présence de l'indice prédictif « what » en modalité audiovisuelle. Si dans la suite de l'étude avec plus de participants, la tendance que nous avons observée selon laquelle c'est l'indice « when » qui provoque cet effet, nous pourrions établir un rapprochement avec les études vues plus haut. Celles-ci montrent que les patients atteints de la maladie de Parkinson ont plus de mal à tirer profit des prédictions temporelles. La prédiction « what-when » facilite la latence : ce résultat traduit un soulagement de l'attention qui traite les informations plus rapidement lorsqu'on combine les deux indices. Cette facilitation de latence est le reflet de l'étape phonétique (Pinto et al., 2019). Il est important de noter que l'on n'observe pas cette facilitation de latence par la prédiction « what-when » en modalité auditive. Cette constatation se rapproche des études précédentes selon lesquelles la composante visuelle de la parole audiovisuelle accélère le traitement de la composante auditive (Alsius et al., 2014; van Wassenhove et al., 2005).

.2. Limites et ouvertures

Nous avons étudié les résultats d'une personne en état « ON » lors de l'expérimentation. Comparer les résultats de patients en état de médication (état « ON ») ou non (état « OFF») constituerait une piste intéressante, même si cela paraît complexe d'un point de vue éthique. Actuellement, les données de la littérature ne font pas consensus sur l'amélioration des performances prédictives des sujets avec un traitement dopaminergique. D'un côté, Tomassini et al. (2019) affirment que la déplétion dopaminergique rend les prédictions temporelles incertaines : ces dernières sont bénéfiques pour les témoins et sujets atteints de la maladie de Parkinson avec traitement mais elles ne sont pas profitables aux personnes malades sans traitement. D'un autre côté, Trempler et al. (2020) montrent qu'il n'existe pas d'amélioration dans l'apprentissage de l'erreur de prédiction chez les patients avec traitement par rapport à ceux qui n'en bénéficient pas. Ils ont cherché à savoir si les personnes atteintes de la maladie de Parkinson présentent un déficit d'apprentissage des erreurs de prédiction. Ils ont présenté visuellement des séries de chiffres en ordre croissant ou décroissant à un groupe contrôle et à des sujets atteints de la maladie de Parkinson en état de médication ou non. Lorsqu'un changement de direction (passage de l'ordre croissant à l'ordre décroissant ou inversement) se produisait, et ce de manière aléatoire, les participants devaient appuyer sur un bouton. Les résultats soulignent le rôle du dysfonctionnement de la substance noire dans les difficultés

d'apprentissage des erreurs de prédiction.

Notre étude ne comporte qu'un seul patient, ce qui ne nous permet pas de conclure quant aux hypothèses énoncées précédemment. En se basant sur la revue de la littérature effectuée, nous avons pu présenter les résultats obtenus et discuter des mécanismes qui pourraient être impliqués. Cette étape doit être complétée par l'inclusion de plus de patients afin d'aboutir à des conclusions robustes. De plus, il est important d'étudier l'impact de la maladie de Parkinson sur les composantes plus tardives, c'est-à-dire N2 et P3, lors de notre tâche. Ce travail est effectué dans le cadre du mémoire de Juliette Buchou. En effet, les composantes tardives dépendent des conditions de la tâche cognitive découlant du stimulus (Ruzicka & Massiou, 1993). Elles reflètent les étapes ultérieures du traitement de la stimulation, à savoir la discrimination, l'évaluation ainsi que les capacités de mémoire et de décision (Philipova et al., 1997). L'analyse de ces ERP serait à mettre en parallèle de celle des compétences cognitives des participants car la composante P300 a une amplitude réduite et une latence retardée chez les sujets atteints de la maladie de Parkinson présentant une déficience cognitive légère : elle constituerait donc un outil diagnostique dans la détection de la déficience cognitive légère dans la maladie de Parkinson (Yilmaz et al., 2017).

.3. Intérêts orthophoniques

L'orthophonie recouvre de nombreux domaines, notamment la prise en soin des maladies neurodégénératives telles que la maladie de Parkinson. Les axes de prise en charge concernent les troubles de la déglutition, du graphisme, les troubles arthriques et cognitifs. Sur le versant expressif, la méthode LSVT « Lee Silverman Voice Treatment » est l'une des plus utilisées pour améliorer la communication fonctionnelle du patient. Cette méthode intensive repose sur la stimulation de l'auto-perception de l'amplitude vocale nécessaire à l'intelligibilité. Mais actuellement, le versant réceptif de la perception de la parole ne constitue pas un axe de prise en soin orthophonique car l'atteinte perceptive des sujets atteints de la maladie de Parkinson ne dispose pas encore de suffisamment de preuves scientifiques. Une étude comme celle que nous avons menée ainsi que des recherches plus larges permettraient d'inscrire le versant réceptif de la parole dans les axes de prise en charge de la maladie de Parkinson.

De plus, il serait intéressant d'approfondir le lien entre la perception et la production de la parole chez les personnes atteintes de la maladie de Parkinson. Huang et al. (2019) indiquent que les indices externes peuvent compenser les déficits dans la rétroaction auditive de la production de la parole grâce à la modulation top-down des mécanismes moteurs de la parole. La présence de signaux auditifs externes entraîne ainsi une baisse des compensations vocales pour les déficits de hauteur de son, corrélée à une augmentation de l'amplitude de P2 et une réduction de celle de N1.

Ce mémoire s'inscrit dans un travail de recherche et nous a permis de découvrir de manière plus concrète ce nouvel aspect du métier. Grâce à ce travail, nous avons gagné en autonomie, en confiance en soi professionnelle et en adaptabilité. Nous avons en effet organisé nos recherches personnelles pour la revue de littérature en nous formant sur la manière de la rédiger et avons plusieurs fois changé de piste de travail à cause du contexte sanitaire. Nous avons également acquis certaines compétences en ce qui concerne l'analyse des données (notamment EEG). Le fait de travailler en parallèle avec Juliette Buchou nous a donné

l'occasion d'échanger sur un thème scientifique commun et d'enrichir nos recherches.

Conclusion

L'objectif de notre étude était d'approfondir les mécanismes de codage prédictif chez les sujets atteints de la maladie de Parkinson, notamment ceux qui entrent en jeu dans la perception audiovisuelle de la parole. Il existe aujourd'hui peu d'études à ce sujet. On sait que les personnes atteintes de la maladie de Parkinson rencontrent des difficultés dans la perception du temps et des difficultés d'ordre attentionnel. La dopamine joue un rôle essentiel dans le calcul de l'erreur de prédiction et dans le codage de la fiabilité de l'information sensorielle. Des études ont souligné les difficultés prédictives temporelles que présentent les patients malades par rapport aux sujets contrôles.

Nous pensions que les indices prédictifs visuels entraîneraient une diminution de l'amplitude et une facilitation de latence des ERP précoces. Nous avons également émis l'hypothèse que ces indices sont utiles aux patients atteints de la maladie de Parkinson pour compenser leurs difficultés lors de la perception de la parole.

Nos résultats montrent l'impact de la maladie de Parkinson sur les indices prédictifs mis en jeu dans le traitement de la parole audiovisuelle aux stades précoces. L'étude des ERP est intéressante puisque les composantes sont le reflet de mécanismes cognitifs impliqués dans le traitement de la perception de la parole.

Le fait que notre étude soit centrée sur un unique patient ne nous permet pas de tirer des conclusions quant à nos hypothèses. Elle explore des pistes que des travaux ultérieurs pourront poursuivre. Cette étude est novatrice dans le sens où les données sur les mécanismes prédictifs dans la maladie de Parkinson sont récentes. Il n'existe actuellement que très peu de données sur l'atteinte de ces mécanismes impliqués dans la perception de la parole dans la maladie de Parkinson. Contrairement au versant productif qui fait l'objet de nombreuses recherches, le versant perceptif de la parole reste en grande partie inexploré. Une meilleure connaissance de son atteinte dans la maladie de Parkinson permettrait de développer de nouvelles techniques de prise en soin orthophonique.

Bibliographie

- Alsius, A., Möttönen, R., Sams, M. E., Soto-Faraco, S., & Tiippana, K. (2014). Effect of attentional load on audiovisual speech perception: Evidence from ERPs. *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00727>
- Amenedo, E., & Díaz, F. (1998). Aging-related changes in processing of non-target and target stimuli during an auditory oddball task. *Biological Psychology*, 48(3), 235-267. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(98\)00040-4](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(98)00040-4)
- Annamaki, T., Palmu, K., Murros, K., & Partanen, J. (2017). Altered N100-potential associates with working memory impairment in Parkinson's disease. *Journal of Neural Transmission*, 124(10), 1197-1203. <https://doi.org/10.1007/s00702-017-1758-z>
- Arnal, L. H., Morillon, B., Kell, C. A., & Giraud, A.-L. (2009). Dual Neural Routing of Visual Facilitation in Speech Processing. *Journal of Neuroscience*, 29(43), 13445-13453. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3194-09.2009>
- Arnott, S. R., Bardouille, T., Ross, B., & Alain, C. (2011). Neural generators underlying concurrent sound segregation. *Brain Research*, 1387, 116-124. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2011.02.062>
- Artieda, J., Pastor, M. A., Lacruz, F., & Obeso, J. A. (1992). Temporal discrimination is abnormal in Parkinson's disease. *Brain: A Journal of Neurology*, 115 Pt 1, 199-210. <https://doi.org/10.1093/brain/115.1.199>
- Auzou, P., & Rolland-Monnoury, V. (2006). *BECD: Batterie d'évaluation clinique de la dysarthrie* (Vol. 1-2). Ortho édition.
- Baart, M. (2016). Quantifying lip-read-induced suppression and facilitation of the auditory N1 and P2 reveals peak enhancements and delays. *Psychophysiology*, 53(9), 1295-1306. <https://doi.org/10.1111/psyp.12683>
- Baart, M., Stekelenburg, J. J., & Vroomen, J. (2014). Electrophysiological evidence for speech-specific audiovisual integration. *Neuropsychologia*, 53, 115-121. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.11.011>
- Behroozmand, R., & Johari, K. (2019). Sensorimotor Impairment of Speech and Hand Movement Timing Processing in Parkinson's Disease. *Journal of Motor Behavior*, 51(5), 561-571. <https://doi.org/10.1080/00222895.2018.1528204>
- Breska, A., & Ivry, R. B. (2018). Double dissociation of single-interval and rhythmic temporal prediction in cerebellar degeneration and Parkinson's disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(48), 12283-12288. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810596115>
- Bueti, D., Walsh, V., Frith, C., & Rees, G. (2008). Different brain circuits underlie motor and perceptual representations of temporal intervals. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(2), 204-214. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20017>
- Cerrato, L., Leoni, F. A., & Falcone, M. (1998). Is it Possible to Evaluate the Contribution of Visual Information to the Process of Speech Comprehension? *AVSP'98 International ...*
https://www.academia.edu/22448305/Is_it_Possible_to_Evaluate_the_Contribution_of_Visual_Information_to_the_Process_of_Speech_Comprehension
- Colin, C., & Radeau, M. (2003). Les illusions McGurk dans la parole : 25 ans de recherches. *L'Année psychologique*, 103(3), 497-542. <https://doi.org/10.3406/psy.2003.29649>
- Cope, T. E., Sohoglu, E., Sedley, W., Patterson, K., Jones, P. S., Wiggins, J., Dawson, C., Grube, M., Carlyon, R. P., Griffiths, T. D., Davis, M. H., & Rowe, J. B. (2017). Evidence for causal

- top-down frontal contributions to predictive processes in speech perception. *Nature Communications*, 8(1), 2154. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01958-7>
- Coull, J. T., Cheng, R.-K., & Meck, W. H. (2011). Neuroanatomical and Neurochemical Substrates of Timing. *Neuropsychopharmacology*, 36(1), 3-25. <https://doi.org/10.1038/npp.2010.113>
- Crowley, K. E., & Colrain, I. M. (2004). A review of the evidence for P2 being an independent component process : Age, sleep and modality. *Clinical Neurophysiology*, 115(4), 732-744. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2003.11.021>
- da Silva, C. F., Morgero, K. C. S., Mota, A. M., Piemonte, M. E. P., & Baldo, M. V. C. (2015). Aging and Parkinson's disease as functional models of temporal order perception. *Neuropsychologia*, 78, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.09.029>
- De Keyser, K., De Letter, M., Santens, P., Talsma, D., Botteldooren, D., & Bockstael, A. (2021). Neurophysiological investigation of auditory intensity dependence in patients with Parkinson's disease. *Journal of Neural Transmission*. <https://doi.org/10.1007/s00702-021-02305-3>
- Defebvre, L., & Vérin, M. (2015). *La maladie de Parkinson—3rd Edition*. Elsevier Masson. <https://www.elsevier.com/books/la-maladie-de-parkinson/9782294742323>
- Duffy, J. R. (2005). *Motor speech disorders : Substrates, differential diagnosis, and management—NLM Catalog—NCBI* (ST. Louis, Mo). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nlmcatalog?term=motor+speech+disorders+duffy+jr+2005&cmd=DetailsSearch>
- Fogassi, L. (2012). Les neurones miroirs. *Motricité Cérébrale : Réadaptation, Neurologie du Développement*, 33(4), 143-148. <https://doi.org/10.1016/j.motcer.2012.07.004>
- Fort, M. (2009). *L'accès au lexique dans la perception audiovisuelle et visuelle de la parole*. 309.
- Frachet, B., & Vormès, É. (2009). *Guide de l'audition (Le)*. Odile Jacob.
- Galea, J. M., Bestmann, S., Beigi, M., Jahanshahi, M., & Rothwell, J. C. (2012). Action reprogramming in Parkinson's disease : Response to prediction error is modulated by levels of dopamine. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 32(2), 542-550. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3621-11.2012>
- Georgiev, D., Jahanshahi, M., Dreo, J., Čuš, A., Pirtošek, Z., & Repovš, G. (2015). Dopaminergic medication alters auditory distractor processing in Parkinson's disease. *Acta Psychologica*, 156, 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2015.02.001>
- Getzmann, S., Lewald, J., & Falkenstein, M. (2014). Using auditory pre-information to solve the cocktail-party problem : Electrophysiological evidence for age-specific differences. *Frontiers in Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00413>
- Guépin, M. (2020). *L'impact de la maladie de Parkinson sur les mécanismes prédictifs de la perception audiovisuelle de la parole* [Mémoire d'Orthophonie, Université Lille].
- HAS (2016). Maladie de Parkinson – Parcours de soins. Repéré à [Haute Autorité de Santé - Maladie de Parkinson et syndromes apparentés : techniques et modalités de la prise en charge non médicamenteuse des troubles moteurs \(has-sante.fr\)](https://www.has-sante.fr/fr/maladies-et-traitements/maladie-de-parkinson/maladie-de-parkinson-et-syndromes-apparentes-techniques-et-modalites-de-la-prise-en-charge-non-medicamenteuse-des-troubles-moteurs)
- Inserm (2015). Parkinson (maladie de). Repéré à [Parkinson \(maladie de\) | Inserm - La science pour la santé](https://www.inserm.fr/fr/maladies-et-traitements/parkinson)
- Heldmann, M., Teichmann, S., Al-Khaled, M., Brüggemann, N., & Münte, T. F. (2019). Processing of Local and Global Auditory Deviants in Parkinson Disease :

- Electrophysiological Evidence for Enhanced Attention Capture. *Cognitive and Behavioral Neurology*, 32(1), 31-38. <https://doi.org/10.1097/WNN.0000000000000185>
- Huang, X., Fan, H., Li, J., Jones, J. A., Wang, E. Q., Chen, L., Chen, X., & Liu, H. (2019). External cueing facilitates auditory-motor integration for speech control in individuals with Parkinson's disease. *Neurobiology of Aging*, 76, 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2018.12.020>
- Jafari, Z., Kolb, B. E., & Mohajerani, M. H. (2020). Auditory Dysfunction in Parkinson's Disease. *Movement Disorders*, 35(4), 537-550. <https://doi.org/10.1002/mds.28000>
- Jiang, C., Kaseda, Y., Kumagai, R., Nakano, Y., & Nakamura, S. (2000). Habituation of event-related potentials in patients with Parkinson's disease. *Physiology & Behavior*, 68(5), 741-747. [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(99\)00244-9](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(99)00244-9)
- Karayanidis, F., Andrews, S., Ward, P. B., & Michie, P. T. (1995). ERP indices of auditory selective attention in aging and Parkinson's disease. *Psychophysiology*, 32(4), 335-350. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1995.tb01216.x>
- Katsarou, Z., Bostantjopoulou, S., Kimiskidis, V., Rossopoulos, E., & Kazis, A. (2004). *AUDITORY EVENT-RELATED POTENTIALS IN PARKINSON'S DISEASE IN RELATION TO COGNITIVE ABILITY*. 8.
- Lake, J. I., & Meck, W. H. (2013). Differential effects of amphetamine and haloperidol on temporal reproduction: Dopaminergic regulation of attention and clock speed. *Neuropsychologia*, 51(2), 284-292. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.09.014>
- Landmann, C. (2007). *Le cortex préfrontal et la dopamine striatale dans l'apprentissage guidé par la récompense : Conception et étude d'une tâche cognitive d'exploration par essais et erreurs en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle et en tomographie par émission de positons avec le IIC-raclopride* [Phdthesis, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00160868>
- Lange, K. (2009). Brain correlates of early auditory processing are attenuated by expectations for time and pitch. *Brain and Cognition*, 69(1), 127-137. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.06.004>
- Larousse, É. (2021). *Grand Larousse Illustré 2021*. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/%C3%A9lectroenc%C3%A9phalographie/28253>
- Luck, S. J. (2014). *An introduction to the event-related potential technique* (Second edition). The MIT Press.
- Matsui, H., Nishinaka, K., Oda, M., Kubori, T., & Udaka, F. (2007). Auditory event-related potentials in Parkinson's disease: Prominent correlation with attention. *Parkinsonism & Related Disorders*, 13(7), 394-398. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2006.12.012>
- Mcgurk, H., & Macdonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 264(5588), 746-748. <https://doi.org/10.1038/264746a0>
- Miller, G. A., & Nicely, P. E. (1955). An Analysis of Perceptual Confusions Among Some English Consonants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 27(2), 338-352. <https://doi.org/10.1121/1.1907526>
- 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>
- Nobre, A. C., & van Ede, F. (2018). Anticipated moments : Temporal structure in attention. *Nature Reviews Neuroscience*, 19(1), 34-48. <https://doi.org/10.1038/nrn.2017.141>
- Noppeney, U., & Lee, H. L. (2018). Causal inference and temporal predictions in audiovisual perception of speech and music. *Annals of the New York Academy of Sciences*. <https://doi.org/10.1111/nyas.13615>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness : The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Paiva, T. O., Almeida, P. R., Ferreira-Santos, F., Vieira, J. B., Silveira, C., Chaves, P. L., Barbosa, F., & Marques-Teixeira, J. (2016). Similar sound intensity dependence of the N1 and P2 components of the auditory ERP : Averaged and single trial evidence. *Clinical Neurophysiology*, 127(1), 499-508. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.06.016>
- Peelle, J. E., & Sommers, M. S. (2015). Prediction and constraint in audiovisual speech perception. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 68, 169-181. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2015.03.006>
- Philipova, D., Gatchev, G., Vladova, T., & Georgiev, D. (1997). Event-related potentials in Parkinsonian patients under auditory discrimination tasks. *International Journal of Psychophysiology*, 27(1), 69-78. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(97\)00783-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(97)00783-6)
- Picton, T. W., Hillyard, S. A., & Galambos, R. (1976). Habituation and Attention in the Auditory System. In W. D. Keidel & W. D. Neff (Éds.), *Auditory System: Vol. 5 / 3* (p. 343-389). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-66082-5_8
- 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(2), 45-57.
- Pinto, S., Tremblay, P., Basirat, A., & Sato, M. (2019). The impact of when, what and how predictions on auditory speech perception. *Experimental Brain Research*, 237(12), 3143-3153. <https://doi.org/10.1007/s00221-019-05661-5>
- Prabhakar, S., Syal, P., & Srivastava, T. (2000). P300 in newly diagnosed non-dementing Parkinson's disease : Effect of dopaminergic drugs. *Neurology India*, 48(3), 239.
- Pulvermüller, F., Lutzenberger, W., Müller, V., Mohr, B., Dichgans, J., & Birbaumer, N. (1996). P3 and contingent negative variation in Parkinson's disease. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 98(6), 456-467. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(96\)95537-6](https://doi.org/10.1016/0013-4694(96)95537-6)
- Ranjanoro Tam, C., & Rebena, M. (2016). *L'intégration audiovisuelle de la parole chez les patients atteints de la maladie de Parkinson* [Mémoire d'Orthophonie, Université Lille]. <http://pepite-depot.univ-lille2.fr/nuxeo/site/esupversions/14f9d71a-cd00-462a-83f4-f4ec0a8bacde>
- Reisberg, D., McLean, J., & Goldfield, A. (1987). Easy to hear but hard to understand : A lip-reading advantage with intact auditory stimuli. In *Hearing by eye : The psychology of lip-reading* (p. 97-113). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Ruzicka, E., & Massiou, F. E. (1993). Event-related potentials in Parkinson's disease : A review. *Behavioral Neurology*, 6, 12.
- Schwartz, J.-L., & Savariaux, C. (2014). No, There Is No 150 ms Lead of Visual Speech on Auditory Speech, but a Range of Audiovisual Asynchronies Varying from Small Audio Lead

- to Large Audio Lag. *PLOS Computational Biology*, 10(7), e1003743. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003743>
- Skipper, J. I., van Wassenhove, V., Nusbaum, H. C., & Small, S. L. (2007). Hearing lips and seeing voices : How cortical areas supporting speech production mediate audiovisual speech perception. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 17(10), 2387-2399. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhl147>
- Sohn, Y. H., Kim, G. W., Huh, K., & Kim, J.-S. (1998). Dopaminergic influences on the P300 abnormality in Parkinson's disease. *Journal of the Neurological Sciences*, 158(1), 83-87. [https://doi.org/10.1016/S0022-510X\(98\)00102-6](https://doi.org/10.1016/S0022-510X(98)00102-6)
- Sohoglu, E., Peelle, J. E., Carlyon, R. P., & Davis, M. H. (2012). Predictive Top-Down Integration of Prior Knowledge during Speech Perception. *Journal of Neuroscience*, 32(25), 8443-8453. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5069-11.2012>
- Stekelenburg, J. J., & Vroomen, J. (2007). Neural correlates of multisensory integration of ecologically valid audiovisual events. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(12), 1964-1973. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.12.1964>
- Stekelenburg, J., & Vroomen, J. (2012). Electrophysiological correlates of predictive coding of auditory location in the perception of natural audiovisual events. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnint.2012.00026>
- Sumby, W. H., & Pollack, I. (1954). Visual Contribution to Speech Intelligibility in Noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 26(2), 212-215. <https://doi.org/10.1121/1.1907309>
- te Woerd, E. S., Oostenveld, R., de Lange, F. P., & Praamstra, P. (2017). Impaired auditory-to-motor entrainment in Parkinson's disease. *Journal of Neurophysiology*, 117(5), 1853-1864. <https://doi.org/10.1152/jn.00547.2016>
- Tomassini, A., Pollak, T. A., Edwards, M. J., & Bestmann, S. (2019). Learning from the past and expecting the future in Parkinsonism : Dopaminergic influence on predictions about the timing of future events. *Neuropsychologia*, 127, 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.02.003>
- Tremblay, K. L., Shahin, A. J., Picton, T., & Ross, B. (2009). Auditory training alters the physiological detection of stimulus-specific cues in humans. *Clinical Neurophysiology*, 120(1), 128-135. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.10.005>
- Trempler, I., Bürkner, P.-C., El-Sourani, N., Binder, E., Reker, P., Fink, G. R., & Schubotz, R. I. (2020). Impaired context-sensitive adjustment of behaviour in Parkinson's disease patients tested on and off medication: An fMRI study. *NeuroImage*, 212, 116674. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116674>
- Tsuchiya, H., Yamaguchi, S., & Kobayashi, S. (2000). Impaired novelty detection and frontal lobe dysfunction in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 38(5), 645-654. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(99\)00108-6](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(99)00108-6)
- van Laarhoven, T., Stekelenburg, J. J., & Vroomen, J. (2021). Suppression of the auditory N1 by visual anticipatory motion is modulated by temporal and identity predictability. *Psychophysiology*, 58(3). <https://doi.org/10.1111/psyp.13749>
- Verleger, R., Jaśkowski, P., & Wascher, E. (2005). Evidence for an Integrative Role of P3b in Linking Reaction to Perception. *Journal of Psychophysiology*, 19(3), 165-181. <https://doi.org/10.1027/0269-8803.19.3.165>
- Viallet, F., & Teston, B. (2007). La dysarthrie dans la maladie de Parkinson. In P. Auzou (Éd.), *Les Dysarthries* (p. 169-174). SOLAL. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00242418>

- Vierregge, P., Verleger, R., Wascher, E., Stüven, F., & Kömpf, D. (1994). Auditory selective attention is impaired in Parkinson's disease—Event-related evidence from EEG potentials. *Cognitive Brain Research*, 2(2), 117-129. [https://doi.org/10.1016/0926-6410\(94\)90008-6](https://doi.org/10.1016/0926-6410(94)90008-6)
- Wassenhove, V. V., Grant, K. W., & Poeppel, D. (2005). Visual speech speeds up the neural processing of auditory speech. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(4), 1181-1186. <https://doi.org/10.1073/pnas.0408949102>
- Wright, M. J., Geffen, G. M., & Geffen, L. B. (1996). ERP measures of stimulus processing during an auditory oddball task in Parkinson's disease : Evidence for an early information processing deficit. *Parkinsonism & Related Disorders*, 2(1), 13-21. [https://doi.org/10.1016/1353-8020\(95\)00024-0](https://doi.org/10.1016/1353-8020(95)00024-0)
- Yilmaz, F. T., Özkaynak, S. S., & Barçın, E. (2017). Contribution of auditory P300 test to the diagnosis of mild cognitive impairment in Parkinson's disease. *Neurological Sciences*, 38(12), 2103-2109. <https://doi.org/10.1007/s10072-017-3106-3>

Liste des annexes

Annexe n°1 : Impact des connaissances préalables sur le traitement de la parole audiovisuelle (Pinto et al., 2019).

Annexe n°2 : Tableau récapitulatif de la revue de la littérature scientifique sur les ERP auditifs dans la maladie de Parkinson.