

DEPARTEMENT ORTHOPHONIE
FACULTE DE MEDECINE
Pôle Formation
59045 LILLE CEDEX
Tél : 03 20 62 76 18
departement-orthophonie@univ-lille.fr



MEMOIRE

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

Carla FERRAN

soutenu publiquement en juin 2024

**Effets de l'écoute de stimuli auditifs rythmiques sur la
production de la parole lors d'une dégénérescence
cérébelleuse**

MEMOIRE dirigé par
Anahita BASIRAT, Maître de Conférences, Université de Lille

Mémoire réalisé dans le cadre du Parcours Recherche

Lille – 2024

Remerciements

Je remercie Madame Anahita Basirat et Jules Fumel pour leur accompagnement et leurs précieux conseils. Je remercie également le professeur Devos pour son implication ainsi que le professeur Moreau. Merci à la patience et à l'investissement des participants.

Je tiens à exprimer ma gratitude envers mes maîtres de stage pour leur enseignement et leur soutien qui ont enrichi mon parcours et renforcé ma confiance en moi.

Je remercie profondément mes parents pour avoir supporté mes angoisses et pour leur soutien inconditionnel. Merci d'avoir accepté de me laisser partir à l'autre bout de la France et de m'avoir fait confiance. Merci à mon frère et à ma sœur pour avoir égayé mes retours dans la ville rose pendant les vacances et à nos délicieux souvenirs d'enfance qui m'ont aidée à tenir !

Merci à ma pétillante Faustine, à mon oreille attentive Maxime, à ma rayonnante Jessica qui m'ont épaulée depuis le début de cette aventure en orthophonie. Merci à mes ami.e.s de la faculté pour tous les bons moments passés ensemble. Et merci à Azénor pour nos échanges enrichissants et rassurants ainsi que pour ton soutien sur ce projet.

Merci à toi, Louis. Merci pour ton aide, ton soutien, ton amour et pour avoir rendu tout plus beau.

Résumé :

Les troubles de la prosodie sont fréquemment rencontrés dans les pathologies neurodégénératives. Malgré cela, ils sont rarement traités lors des rééducations orthophoniques en raison du manque d'outils disponibles pour les professionnels. Cependant, des études ont suggéré l'intérêt d'un entraînement rythmique sur l'activité motrice, notamment celles liées à la parole, offrant une perspective prometteuse pour la rééducation. D'autres études ont montré que le cervelet et les ganglions de la base seraient impliqués dans la perception et dans l'expression du rythme. Toutefois, l'implication du cervelet en ce qui concerne la prosodie demeure mal connue. Ainsi, ce mémoire étudie les effets de stimuli auditifs rythmiques chez des participants atteints d'une dégénérescence cérébelleuse afin de mieux comprendre le rôle du cervelet. Pour cela, un protocole expérimental a été administré, impliquant l'écoute d'une amorce suivie de la production de la parole. Trois conditions ont été comparées, à savoir l'écoute d'une amorce rythmique régulière correspondant à la structure métrique des phrases cibles, l'écoute d'une amorce irrégulière et une condition sans amorce. Nous avons ensuite analysé la structure prosodique des phrases produites. Les résultats préliminaires chez les participants atteints d'une dégénérescence cérébelleuse proposent la présence de plus de syllabes proéminentes après une amorce rythmique. Ce résultat reste cependant à confirmer avec plus de participants. Nous discutons des perspectives cliniques.

Mots-clés :

Dysprosodie – dégénérescence cérébelleuse – cervelet – amorçage rythmique – proéminences

Abstract :

Prosody disorders are frequently encountered in neurodegenerative diseases. Despite this, they are rarely treated during speech therapy owing to the lack of tools available to professionals. However, studies have suggested the benefits of rhythmic training on motor activity, particularly that linked to speech, do indeed offer a promising prospect for rehabilitation. Other studies have shown that the cerebellum and basal ganglia are involved in the perception and expression of rhythm. However, little is known about the cerebellum's involvement in prosody. This thesis therefore studies the effects of rhythmic auditory stimuli in subjects with cerebellar degeneration in order to gain a better understanding of the role of the cerebellum. To this end, an experimental protocol was administered, involving listening to a stimulus followed by speech production. Three conditions were compared, namely listening to a regular rhythmic onset corresponding to the metrical structure of the target sentences, listening to an irregular onset and a condition without onset. We then analysed the prosodic structure of the sentences produced. Preliminary results in participants with cerebellar degeneration suggest the presence of more prominent syllables after rhythmic priming. However, this result remains to be confirmed with more participants. We discuss the clinical perspectives.

Keywords :

Dysprosody – cerebellar degeneration – cerebellar – rhythmic priming – prominences

Table des matières

Introduction.....	5
Contexte théorique, buts et hypothèse	6
1. La prosodie et ses atteintes dans la dégénérescence cérébelleuse.....	6
1.1. La prosodie du français	6
1.2. Les atteintes prosodiques lors d'une dégénérescence cérébelleuse	8
2. Les mécanismes sous-jacents de la production de la parole	9
2.1. La programmation motrice de la parole : modèles DIVA et GODIVA	9
2.2. Les mécanismes sous-corticaux impliqués dans la parole : rôles du cervelet et des ganglions de la base.....	12
3. Les mécanismes neuronaux communs au rythme musical et à la parole	15
4. Buts et hypothèse	16
Méthode	17
1. Population.....	17
2. Matériel	17
2.1. Matériel langagier	17
2.2. Matériel musical.....	17
3. Procédure.....	18
4. Analyse des proéminences	19
Résultats.....	20
Discussion	23
1. Effets de stimuli rythmiques réguliers.....	23
2. Limites et perspectives	25
3. Implications pour la pratique clinique	25
Conclusion	26
Bibliographie	28

Introduction

La prosodie a un rôle essentiel dans la communication et est considérée comme cruciale pour des interactions efficaces (Levinson & Toni, 2019). Elle contribue, entre autres, à la compréhension et à l'interprétation des messages tout en transmettant des émotions. Or, une atteinte prosodique est souvent identifiée chez des patients souffrant de pathologies neurodégénératives, telles que la dégénérescence cérébelleuse. Elle est caractérisée par une atteinte des aspects mélodiques, rythmiques et intonatifs de la parole dont l'impact peut être majeur sur la qualité des interactions sociales (Frota et al., 2021). C'est pourquoi, il est impératif que les orthophonistes évaluent et prennent en charge ce trouble. Néanmoins, le manque d'outils d'évaluation et d'intervention constitue un obstacle à un traitement efficace.

Ce mémoire analyse les effets de stimuli auditifs sur la structure prosodique de la parole des participants atteints d'une dégénérescence cérébelleuse. De nombreuses études mettent en évidence les effets bénéfiques qu'induirait une amorce rythmique sur la perception et la production de la parole. Ces effets peuvent être expliqués par des mécanismes communs au traitement de la musique et au traitement de la parole, comme cela est décrit par Fiveash et al. (2021). Les recherches actuelles rapportent également que cet effet de la stimulation rythmique impliquerait deux circuits cérébraux : les ganglions de la base ainsi que le cervelet. Ils seraient tous deux engagés dans la perception et dans la production du rythme. Toutefois, il existe encore peu d'études expliquant le lien entre la perception d'un rythme et la production de la parole (Koshimori & Thaut, 2018) ainsi que le rôle spécifique des ganglions de la base et du cervelet (Späth et al., 2022).

Ce mémoire s'inscrit dans une suite de mémoires, dont l'objectif ici est de mieux comprendre l'implication du cervelet dans la production de la prosodie, notamment en étudiant les effets de la dégénérescence cérébelleuse sur cette fonction. A long terme, l'objectif serait de proposer des évaluations et des thérapies orthophoniques adaptées aux altérations prosodiques selon les localisations cérébrales. Ainsi, ces interventions pourraient intéresser les patients atteints de la maladie de Parkinson et de l'ataxie spino-cérébelleuse, deux pathologies qui se caractérisent par des troubles de la prosodie (Späth et al., 2022).

Nous expliciterons dans un premier temps les caractéristiques de la prosodie du français ainsi que ses atteintes lors d'une dégénérescence cérébelleuse. Nous évoquerons ensuite les données théoriques concernant la programmation motrice de la parole, les régions impliquées dans la parole ainsi que les mécanismes communs à la musique et à la parole. Puis, nous présenterons nos buts et notre hypothèse. Enfin, nous détaillerons la méthodologie, les résultats, les effets de stimuli auditifs sur la prosodie des participants atteints d'une dégénérescence cérébelleuse, ainsi que les limites et les perspectives.

Contexte théorique, buts et hypothèse

1. La prosodie et ses atteintes dans la dégénérescence cérébelleuse

1.1. La prosodie du français

Avant de détailler les perturbations prosodiques lors d'une dégénérescence cérébelleuse, nous commencerons par définir les aspects prosodiques ainsi que ses paramètres. En considérant la langue comme un système de signes et de valeurs, tel un instrument de communication, la parole peut être perçue comme l'un des moyens d'utiliser et de mettre en pratique cette langue. Elle désigne la réalisation de suites de sons portant un sens et la prosodie en constitue une marque significative. En comparaison, l'écrit essaie de substituer la prosodie par la ponctuation. La prosodie étudie un ensemble de phénomènes, comme l'accentuation, le rythme, les tons, l'intonation, la quantité, les pauses et le tempo (Di Cristo, 2013). Ces phénomènes sont appelés « éléments suprasegmentaux », car ils ne concernent pas directement les phonèmes (segments), mais s'ajoutent à eux (suprasegmentaux), ce qui signifie que sans phonème les éléments suprasegmentaux ne peuvent exister. Pour ce mémoire, nous nous intéressons au rythme, c'est-à-dire à la répartition des accents et des pauses dans la parole, ainsi qu'à l'accentuation.

Selon Di Cristo (2004), la prosodie peut être divisée en trois ordres structurels qui interagissent entre eux : l'ordre de structuration métrique, l'ordre de structuration tonale et l'ordre de structuration temporelle. C'est l'ordre de structuration métrique qui est concerné par la gestion de l'accentuation et du rythme. Di Cristo (2004) définit le rythme dans la langue parlée comme des schémas répétitifs constitués de prééminences qui sont organisés de manière hiérarchique. Bien que le rythme soit lié à la notion de métrique, cette dernière est à nuancer, car elle se rapporte plus précisément à la structure de base du rythme (Di Cristo, 2004). Alors que le rythme est la manière dont la métrique est exprimée (Di Cristo, 2013). Ainsi, selon le courant de la phonologie métrique, il existe deux principes théoriques importants : celui de la hiérarchie et celui de l'eurythmie. La hiérarchie correspond aux accents et aux groupements qui seront étudiés dans le paragraphe suivant (Di Cristo, 2013). Tandis que l'eurythmie se rapporte à la régularité, à l'alternance et à l'isochronie. Concernant l'alternance, elle se traduit par l'évitement de deux syllabes accentuées successives qui formeraient dans ce cas une collision accentuelle, ainsi que par l'évitement de syllabes non accentuées se succédant. Toutefois, l'alternance dans la parole n'est pas aussi régulière que dans la musique. Dans le français, nous pouvons observer la production d'une syllabe accentuée suivie de plusieurs syllabes non accentuées et non pas la production d'une syllabe accentuée suivie d'une seule syllabe non accentuée. L'isochronie, quant à elle, correspondrait soit à la durée identique des syllabes, donnant un caractère régulier à la parole, soit à la présence des accents (Di Cristo, 2013).

D'après ce principe théorique de la hiérarchie précédemment évoqué, la structure prosodique des énoncés en français délimite des groupes de mots constituant des unités de sens, qui participent ainsi à une meilleure compréhension du message oral. En effet, l'étude de la prosodie met en évidence des syllabes qui sont accentuées et d'autres non, afin de définir respectivement des temps forts et des temps faibles. L'alternance de ces temps permet ainsi d'identifier des groupes en unités de sens et d'instaurer un rythme dans l'énonciation du message (Di Cristo, 2013).

L'accentuation, paramètre phonologique de la prosodie, désigne la mise en valeur d'une syllabe dans la chaîne parlée. L'unité accentuable, c'est-à-dire l'unité que l'on peut accentuer, est donc la syllabe et l'unité accentuelle est, elle, variable selon les langues (Di Cristo, 2013). Dans le cas du français, l'accentuation se fait au niveau de la phrase accentuelle et non pas au niveau du mot comme dans l'anglais. Il existe deux niveaux d'accentuation dans la langue française : l'accent primaire et l'accent secondaire. L'accent primaire est aussi appelé « accent final », car il est obligatoire en fin de phrase. Par exemple, avec des mots isolés, l'accent frappe la dernière syllabe articulée et pleine, c'est-à-dire n'ayant pas un -e muet pour élément vocalique (ex. **montagne**). Si on considère la phrase, l'accent frappe la dernière syllabe articulée et pleine de chaque groupe de mots unis par le sens (ex. je rentre **demain**). Cet accent a une fonction de démarcation, car il permet un découpage en groupe intonatif (Delais-Roussarie et al., 2015). On dit aussi que l'accentuation prosodique en français est fixe, puisque sa réalisation se fait toujours sur la dernière syllabe (Chiss et al., 2016). Notons également que ce sont principalement les mots qui ont une signification lexicale explicite qui reçoivent l'accent primaire. Concernant l'accent secondaire, il marque le plus souvent la première syllabe et est aussi appelé « accent initial ». Il permet de générer des schémas métriques renforçant la cohésion de la phrase accentuelle (Delais-Roussarie et al., 2015). Néanmoins, ce sont les syllabes portant l'accent primaire qui sont les plus saillantes aux niveaux acoustique et perceptif et non pas celles portant l'accent secondaire (Di Cristo, 2013). Notons que pour ce mémoire, nous analysons plus spécifiquement les proéminences, dont la définition est à nuancer de celle des accents. En effet, la proéminence fait référence à une syllabe qui ressort par rapport aux syllabes voisines. D'un point de vue acoustique, la détection d'une proéminence dépend principalement de la durée et de la fréquence fondamentale de la syllabe, ainsi que d'autres paramètres comme les montées mélodiques et les pauses qui suivent la syllabe (Lacheret et al., 2008). L'accent, peut être considéré comme un type particulier de proéminence, souvent défini plus strictement par sa fonction ou sa position (accentuation sur la première syllabe). En d'autres termes, tous les accents peuvent être des formes de proéminence, mais tous les aspects de la proéminence ne se limitent pas aux accents tels qu'ils sont définis classiquement (Lacheret et al., 2007).

En français, il existe une hiérarchie prosodique des phrases composée de trois niveaux : la phrase accentuelle (PA), la phrase intonative (PI) et la phrase intermédiaire (pi). La phrase accentuelle (PA), ou « groupe accentuel », correspond à la plus petite phrase prosodique. Elle contient au moins un mot lexical potentiellement accompagné de mots de fonction et est délimitée à son bord droit par une syllabe finale accentuée. Le début de la PA peut également être marqué par un accent initial (Delais-Roussarie et al., 2015). La phrase intonative (PI), ou « groupe intonatif », correspond à la plus grande phrase prosodique, puisqu'elle regroupe une ou plusieurs unités phonologiques, à savoir des PA et des pi. Elle est délimitée à son bord droit par un accent primaire, un allongement de la syllabe finale plus prononcé que dans les PA et est souvent suivie d'une pause. La PI correspond à une succession de syllabes associée à un contour mélodique, lequel est constitué de diffé-

rents mouvements mélodiques appelés « tons » permettant notamment de caractériser le type de phrase (ex. déclarative, interrogative, impérative). Au sein d'une PI, la fréquence fondamentale peut varier créant des changements de tons. Par exemple, en français, les mouvements de la fréquence fondamentale créent des tons montants ou descendants pour marquer le début, le milieu ou la fin d'une PI. Dans le cas des phrases déclaratives, qui sont l'objet d'étude dans ce mémoire, l'intonation suit généralement un schéma descendant en fin de phrase intonative (Jun & Fougeron, 2000). Enfin, la pi est plus grande que la PA mais plus petite que la PI. Elle comprend plusieurs PA afin de constituer une unité prosodique plus grande. Cette phrase intermédiaire dépend de la structure morphosyntaxique et de la longueur de la phrase (Delais-Roussarie et al., 2015). Pour mieux comprendre cette structure hiérarchique, prenons une phrase cible utilisée dans l'expérience :

[PI [pi [PA elle m'a pris] [PA un citron]] [pi [PA sans avoir] [PA demandé]]]

Ainsi, l'étude de l'accentuation dans le français a permis de mettre en évidence l'existence de groupes qui sont organisés de manière hiérarchique. Ils permettent de transmettre des informations et d'organiser des liens entre les unités syntaxiques. C'est donc à travers une approche hiérarchique de la prosodie que nous analyserons les productions de personnes dont la pathologie implique des perturbations prosodiques. Cette approche basée sur la hiérarchie rythmique a très peu été étudiée dans le cadre de la dysprosodie (Frota et al., 2021).

1.2. Les atteintes prosodiques lors d'une dégénérescence cérébelleuse

Le terme « dysarthrie » correspond à un trouble de la réalisation motrice de la parole survenant à la suite d'une lésion du système nerveux et comprenant différents dysfonctionnements telle que la dysprosodie (Darley et al., 1975). Les autres dysfonctionnements possibles peuvent impliquer la respiration, la phonation, l'articulation et la résonance, mais nous analyserons uniquement la prosodie pour cette étude. La classification de Darley et al. (1969a, 1969b) est la plus utilisée dans la pratique clinique. Elle propose une classification des dysarthries selon des caractéristiques perceptives.

À la suite d'une atteinte cérébelleuse, les troubles de l'exécution motrice de la parole observés sont généralement classés sous le nom de « dysarthrie ataxique ». Elle est souvent comparée à une parole dite « ébrieuse » (Duffy, 2020). Dans l'étude de Darley et al., (1969b), les perturbations cliniques de la dysarthrie ataxique sont classées selon trois clusters. Le premier correspond à l'imprécision articulatoire, caractérisée par une imprécision des consonnes, une distorsion des voyelles et une articulation dégradée. L'excès prosodique constitue le second cluster. Les caractéristiques de ce cluster sont les suivantes : une accentuation excessive, un allongement des phonèmes, un allongement des pauses et un débit lent. Enfin, l'insuffisance phonatoire et l'insuffisance prosodique constituent le troisième cluster et se définissent par une voix rauque, une monotonie et une mono-intensité.

Une étude (Schalling et al., 2007) analyse la dysarthrie ataxique chez des personnes atteintes d'ataxie spino-cérébelleuse (ASC). Les auteurs étudient notamment l'accentuation et mettent en évidence des différences significatives entre des participants sains et des participants atteints d'ASC. Ils évoquent la présence de trouble d'accentuation, en particulier d'un excès d'accents égaux dans le discours des personnes avec une ASC. Ces excès d'accents correspondent à des accen-

tuations sur des segments de discours habituellement non accentués. L'égalisation fait référence au fait que les participants produiraient des syllabes généralement non accentuées avec une durée plus longue, entraînant une égalisation de la durée des syllabes du discours alors que nous nous attendrions à une variation des durées de syllabes, perturbant ainsi le rythme de la parole. De plus, les résultats des mesures acoustiques indiquent une variabilité plus importante des durées par rapport au groupe témoin. Cette variabilité des durées des syllabes a été observée même chez les sujets présentant une dysarthrie très légère. D'après les auteurs, cela pourrait être une caractéristique significative de la dysarthrie ataxique et constituer un signe de diagnostic précoce.

À ce propos, les rééducations de la dysarthrie ataxique en orthophonie reposent principalement sur l'amélioration de l'intelligibilité. Classiquement, un travail pour contrôler le débit peut être proposé grâce à différents outils comme l'oscilloscope ou le prompteur. Une rééducation autour de la respiration ainsi que de l'articulation est également décrite (Robertson et al., 1999). Pourtant, aucune étude ne permet de démontrer les preuves d'une efficacité quelconque. De manière générale, les études affirment qu'un travail précoce, intensif et régulier est nécessaire pour une rééducation efficace.

2. Les mécanismes sous-jacents de la production de la parole

2.1. La programmation motrice de la parole : modèles DIVA et GODIVA

Afin de mieux comprendre les mécanismes neuronaux sous-jacents en lien avec la programmation motrice de la parole, nous étudions les modèles DIVA et GODIVA. Ce sont des modèles dits « neuro-computationnels », c'est-à-dire qu'ils relient une fonction cognitive et une base neurobiologique en utilisant des simulations informatiques (Miller & Guenther, 2021). Le premier modèle nommé « DIVA » (Directions Into Velocities of Articulators) (Figure 1) décrit le contrôle moteur de l'articulation des syllabes. Plus précisément, il détaille les mécanismes indispensables à l'apprentissage et à la production d'un seul programme moteur de la parole (ex. la programmation d'un phonème /f/, voire d'une syllabe /fa/).

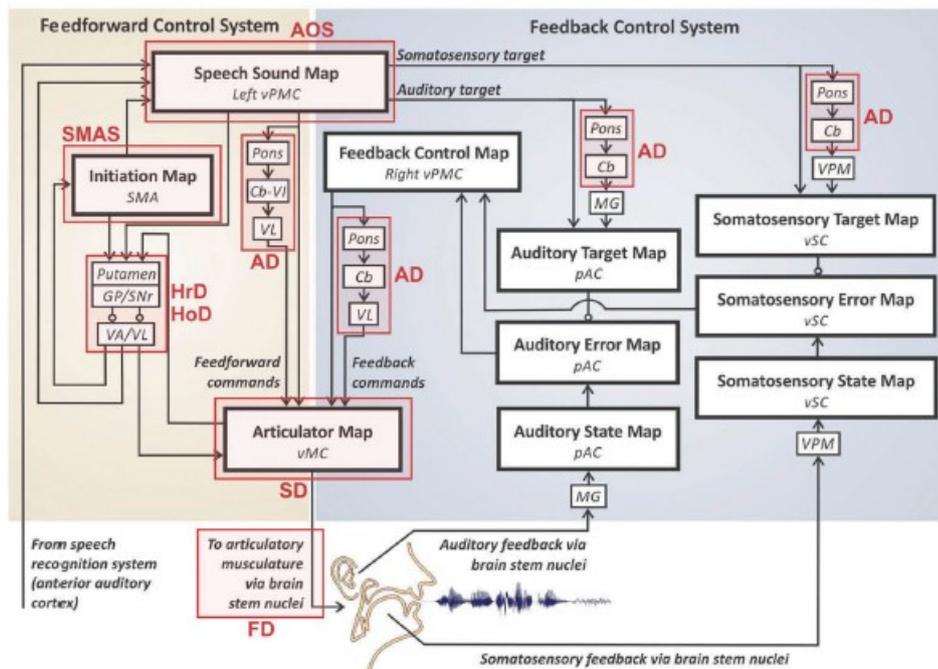


Figure 1: Modèle DIVA.

Le second modèle nommé GODIVA (Figure 2) détaille les mécanismes de haut-niveau impliqués dans la mise en mémoire et dans le fait de séquencer les énoncés, c'est-à-dire dans le fait de sélectionner puis de commencer la production syllabique de la parole. Ce deuxième modèle se compose de deux boucles : la boucle de planification (« planning loop », en anglais) et la boucle motrice (« motor loop », en anglais). La boucle de planification représente le stockage temporaire des éléments d'une séquence phonologique à venir. Elle est constituée d'une mémoire tampon du contenu phonologique (« phonological content buffer », en anglais) contenant les unités phonologiques d'un énoncé et de la mémoire tampon de la structure séquentielle (« sequential structure buffer », en anglais), correspondant à la structure syllabique ainsi qu'au chronométrage métrique qui est essentielle pour préserver une parole fluente. Tandis que la boucle motrice génère les commandes des mouvements articulaires. Elle détient le programme moteur d'une syllabe énoncée. Cette boucle se divise en deux cartes : une carte d'initiation (« initiation map », en anglais) qui engage l'exécution motrice et une carte des sons de la parole (« speech sound map », en anglais) qui contient les sons ou syllabes courantes.

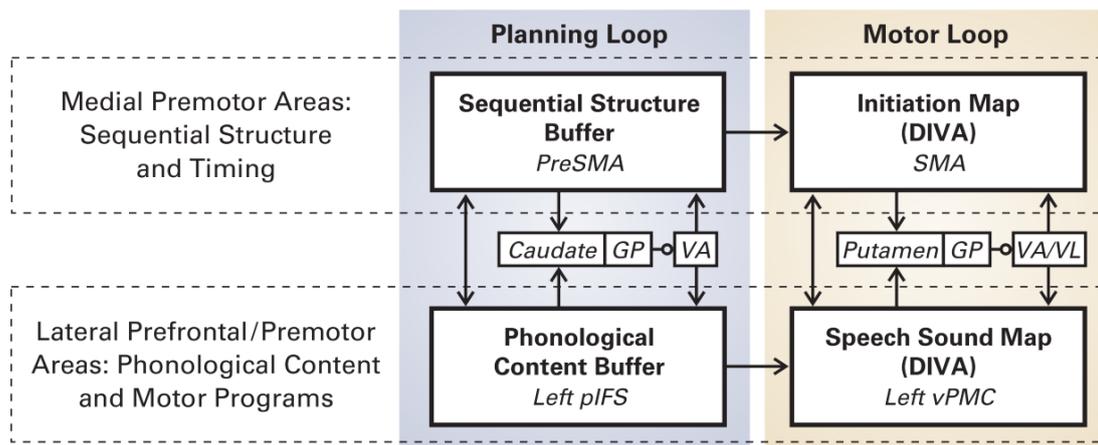


Figure 2 : Modèle GODIVA.

Au niveau de la localisation de ces fonctions, les aires prémotrices médiales comprennent la mémoire tampon de la structure séquentielle ainsi que la carte d'initiation. Elles sont spécialisées dans la coordination du chronométrage entre la structure séquentielle globale d'un énoncé et l'exécution motrice de la parole. Les aires préfrontales et prémotrices latérales sont le lieu de la mise en mémoire et de la traduction d'un contenu phonologique en programmes moteurs associés. Elles correspondent donc à la mémoire tampon phonologique et à la carte des sons de la parole.

Dans ce modèle, le système fonctionne en file d'attente compétitive. C'est un processus de choix qui ne sélectionne que l'unité la plus active dans le tampon de la couche de planification. Les phonèmes en début d'énoncé sont plus actifs que les autres. Après sélection, l'unité est exécutée et le processus se répète dans le reste de la séquence. Prenons en exemple le mot « caméra ». Pour le produire, le système sélectionne d'abord les phonèmes les plus actifs : /k/ et /a/ sont les premiers phonèmes dans notre exemple (étape de la mémoire tampon phonologique). Puis, il se dirige vers la carte des sons de la parole pour comparer les syllabes disponibles : la syllabe /ga/ n'est pas activée, car le premier phonème ne correspond pas, en revanche, la syllabe /ka/ convient parfaitement. C'est celle-ci qui sera activée et cela avant les autres syllabes puisqu'elle a un niveau d'activation plus élevé. Enfin, elle sera exécutée (carte d'initiation).

Ces modèles permettent une description du contrôle moteur de la parole de façon précise, notamment en décrivant les liens entre systèmes phonologiques et moteurs et en apportant des informations concernant les bases neurales et les substrats anatomiques impliqués (Miller & Guenther, 2021). Cependant, bien qu'ils rendent compte des mécanismes d'adaptation internes permettant de protéger les cibles sensorielles contre les variations perturbatrices lors de la production de la parole, ils n'expliquent toutefois pas l'adaptation du discours du locuteur comme ce qui est observé dans l'étude de Späth et al. (2022). En effet, nous avons vu ci-dessus que la structure des énoncés, comme la répartition des accents, permet de générer une certaine régularité dans la perception de la parole, créant ainsi un rythme, qui participe à la compréhension du discours. Grâce à cette régularité de la parole, des anticipations et des adaptations sont ainsi possibles à la suite de notre sensibilité à la perception de ce rythme par le biais de mécanismes corticaux et sous-corticaux (Späth et al., 2022). C'est pourquoi, il semble essentiel de comprendre les mécanismes de perception et de production de la parole dans un contexte d'interaction sociale.

Lorsque nous communiquons, un processus d'adaptation interne au locuteur se réalise. Ainsi, dans une étude menée par Harrington et al. (2019), des différences sont relevées à la suite de l'analyse acoustique de la parole de participants avant et après qu'ils se soient retrouvés confinés en Antarctique durant une période prolongée. Ces participants venant de différents pays, parlaient des langues variées. Afin de communiquer entre eux, l'anglais a été choisi comme langue commune, mais chaque participant avait un accent différent. Or, les résultats suggèrent que ces individus ont développé les prémices d'un accent commun, appelé l'« accent Antarctique ». De ce fait, les mesures acoustiques ont permis de relever un changement dans la parole des locuteurs à la suite de leurs interactions. Nos échanges ont donc bien une influence sur notre parole. Cette influence se manifeste par une convergence phonétique. En d'autres termes, c'est la capacité à modifier des détails phonétiques précis dans le but d'adopter ceux du locuteur, telle une imitation phonétique. Cette convergence a également un lien avec la compréhension et avec l'adhésion aux discours des locuteurs. En effet, une expérience a été menée afin d'observer de potentiels couplages des activités cérébrales entre les personnes écoutant une histoire racontée et un locuteur relatant cette histoire (Stephens et al., 2010). Grâce à l'IRMf, l'étude a pu révéler une activité cérébrale appariée de façon temporelle et spatiale entre les auditeurs et le locuteur. Ce couplage se fait avec une certaine anticipation. Qui plus est, les auteurs ont observé un lien entre la compréhension fine de l'histoire et le degré de couplage anticipatif de l'auditeur avec l'activation cérébrale du locuteur. Ainsi, un phénomène d'alignement temporel opère durant nos échanges. Par ailleurs, la rythmicité contenue dans la conversation permet aux interlocuteurs de coordonner leur prise de parole. L'auditeur anticipe la fin de parole du locuteur, puis s'adapte en engageant son système moteur pour prendre à son tour la parole à un moment jugé opportun (Späth et al., 2022).

2.2. Les mécanismes sous-corticaux impliqués dans la parole : rôles du cervelet et des ganglions de la base

Nous avons vu, ci-dessus, la programmation motrice de la parole et le fait que nos interactions ont une influence sur celle-ci. Nous étudions à présent les mécanismes sous-corticaux qui interviennent dans la production de la parole. À savoir, la boucle cortico-cérébello-corticale impliquant le cervelet et la boucle cortico-sous-corticale impliquant les ganglions de la base qui jouent un rôle important dans la perception et la production de la parole.

Le cervelet appartient au système nerveux central. Situé à l'arrière du tronc cérébral, il permet de maintenir le tonus musculaire, l'équilibre ainsi que la coordination des mouvements volontaires (Bijsterbosch et al., 2011). Le cervelet est principalement connu pour son rôle moteur et ses connexions avec le cortex moteur primaire (Brodal & Bjaalie, 1997). Une étude comportementale (Doyon & Benali, 2005) démontre que le cervelet intervient dans l'apprentissage de nouveaux comportements moteurs et qu'il joue un rôle crucial pour la consolidation de ces nouveaux comportements. Le cervelet est aussi impliqué dans les associations sensori-motrices, ce qui permet d'ajuster le comportement en fonction des informations perçues et de corriger les erreurs de mouvements moteurs (Bradshaw & McGettigan, 2021). Toutefois, son rôle ne serait pas limité au contrôle moteur, mais il serait également engagé dans des activités cognitives et perceptuelles.

À propos de la production de la parole, Ziegler (2016) a démontré que le cervelet est impliqué dans l'exécution et l'activation motrice. Cependant, il n'a trouvé aucune preuve significative éta-

blissant le rôle du cervelet dans la planification phonétique ou dans l'encodage phonologique. Par conséquent, un manque de preuves persiste sur l'implication du cervelet dans le contrôle neurocognitif de la production de la parole. Il existe néanmoins des études, portant généralement sur des participants atteints d'ASC, suggérant que les fonctions cérébelleuses permettent un contrôle prédictif de la production de la parole ainsi qu'une rétroaction de cette production. En effet, le cervelet serait impliqué dans l'anticipation de la production vocale. Selon le modèle DIVA (Miller & Guenther, 2021), que nous abordons en détail dans une autre partie, le cervelet a pour rôle d'utiliser des signaux de rétroaction afin de contrôler et d'ajuster la parole avant sa production. Par conséquent, lors d'une atteinte cérébelleuse, cette capacité de compensation serait compromise (Parrell et al., 2017). Bien que plusieurs recherches aient étudié l'implication du cervelet dans l'anticipation de la production vocale, peu se sont concentrées sur son rôle dans le contrôle en retour d'une production vocale.

Li et al. (2019) ont examiné les régions cérébrales activées lors d'une situation d'écoute inattendue pendant la production vocale. Ils ont demandé à des participants atteints d'ASC et à des participants sains de produire des voyelles de manière prolongée, tout en entendant leur voix dont la hauteur était modifiée. Les chercheurs ont ensuite mesuré les réactions vocales ainsi que les signaux électriques de leur cerveau, à l'aide de la tomographie électromagnétique cérébrale à basse résolution (sLORETA). Ils ont constaté des différences au niveau de l'activité cérébrale, en particulier entre le cervelet et les régions corticales. L'activité cérébrale était moins importante au niveau des régions temporales et pariétales droites. De cette façon, ils suggèrent que ces résultats sont liés à des interactions perturbées entre le cervelet et les régions corticales, chez les patients atteints d'ASC. Ils ont aussi montré que ces participants ont ajusté leur voix de manière plus importante à la suite de retours auditifs perçus, comparativement aux participants sains. Ces données peuvent s'expliquer par une stratégie compensatoire mise en place à la suite de lésions cérébelleuses. Dans l'ensemble, cette étude mettrait en évidence l'implication du cervelet dans le contrôle rétroactif de la production de la parole.

Une autre étude (Bradshaw & McGettigan, 2021) analyse la convergence vocale lorsque la parole est synchronisée à celle d'un autre locuteur. La tâche demandée aux participants était de lire des phrases et ceci de manière synchrone avec un locuteur pré-enregistré. Les résultats suggèrent que la parole synchronisée induit une convergence vocale spécifique, en particulier de la fréquence fondamentale. Cette adaptation serait attribuée au cervelet. Effectivement, selon Van Overwalle et al. (2020), il permettrait d'intégrer les informations plus complexes provenant du cortex cérébral. Cela inclut les aspects sociaux et notre manière d'interagir avec les autres notamment par le langage.

En ce qui concerne le versant perceptif, une étude (Guediche et al., 2015) s'intéresse à l'implication du cervelet dans l'adaptation liée à la perception de la parole. En effet, afin de garantir une bonne compréhension lors d'une interaction en condition d'écoute difficile, comme en présence d'un locuteur avec un fort accent, des mécanismes adaptatifs interviennent. Les chercheurs ont proposé une expérience dont la tâche consistait en la reconnaissance de mots à la suite de l'écoute de mots de plus en plus déformés. Ils ont analysé le changement de l'activité cérébrale avant et après grâce à l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Ils ont examiné la relation entre ces changements et les performances de reconnaissance. Les résultats ont montré des modifications dans une région du cervelet, suggérant que cette zone joue un rôle dans l'adaptation de la perception de la parole.

Tableau 1: résumé des résultats concernant l'implication du cervelet dans la production et dans la perception de la parole.

Production de la parole		Perception de la parole	
Etudes	Principaux résultats	Etude	Résultat
Miller & Guenther (2021)	Le cervelet participe au programme moteur de la parole. La carte des sons de la parole et la carte d'initiation ont des connexions sous-corticales avec le cervelet.	Guediche et al. (2015)	Le cervelet aurait un rôle dans l'adaptation de la perception de la parole en condition d'écoute difficile.
Parrell et al. (2017)	Le cervelet participe au contrôle prédictif, mais son implication concernant le contrôle rétroactif n'est pas démontrée.		
Li et al. (2019)	Le cervelet aurait un rôle dans le contrôle rétroactif.		
Bradshaw & Mcgettigan (2021)	Le cervelet aurait un rôle dans la convergence vocale spécifique (fréquence fondamentale).		
Van Overwalle et al. (2020)			

Les ganglions de la base sont des structures cérébrales profondes impliquées dans la production de la parole. À ce propos, des études se sont concentrées sur la production de la parole chez des personnes atteintes de la maladie de Parkinson permettant ainsi de révéler le rôle des ganglions de la base. Rappelons que les ganglions de la base comprennent le striatum et que celui-ci reçoit la dopamine à partir de la substance noire. C'est précisément les lésions dopaminergiques qui sont à l'origine de la maladie de Parkinson. Selon Guenther (2016), ces lésions auraient des conséquences sur l'initiation des programmes moteurs. Au niveau de la parole, cela se manifesterait par une réduction de la vitesse et de l'amplitude des mouvements articulatoires. Par ailleurs, ce même auteur suggère que les ganglions de la base auraient un rôle dans l'initiation de la parole, suggérant ainsi une implication dans le tour de parole. De même, une étude de cas auprès de participants allemands a révélé des difficultés d'adaptation et de synchronisation des neurones des ganglions de la base dans la maladie de Parkinson (Kotz & Gunter, 2015). Ce dysfonctionnement des ganglions de la base semblerait affecter l'utilisation involontaire de la prosodie, pouvant influencer les fonctions motrices, y compris dans la production de la parole.

Du point de vue de la perception de la parole, ces mêmes auteurs expliquent que la présentation d'une amorce auditive rythmique et congruente avec la phrase écoutée permet une meilleure analyse syntaxique et sémantique de cette phrase. D'après l'étude de Späth et al. (2022), l'entraînement basé sur un rythme montre également un effet bénéfique chez les patients parkinsoniens voire plus importants que chez des individus sains. Les interventions rythmiques auraient donc une influence telle qu'elle modifierait les réseaux de traitement moteur et temporel et permettrait au cervelet de compenser le dysfonctionnement striato-cortical (Kotz & Gunter, 2015). Par ailleurs, l'écoute d'un rythme auditif externe a un effet bénéfique sur le programme moteur de la

marche chez les patients atteints de la maladie de Parkinson (Nombela et al., 2013). Si la stimulation rythmique permet de réguler le programme moteur de la marche, nous pouvons supposer que l'effet se retrouve également sur le programme moteur de la parole. En conséquence, ces études suggèrent un lien entre le traitement de la parole et un rythme perçu, tel qu'un rythme musical par exemple. C'est pourquoi, de plus en plus d'études s'intéressent au paradigme d'amorçage auditif.

3. Les mécanismes neuronaux communs au rythme musical et à la parole

La musique est un signal rythmé qui est composé de patrons réguliers et récurrents. Cette organisation temporelle particulière, qualifiée d'isochrone, fournit des indices acoustiques qui nous permettent de prédire les éléments à venir. Ainsi, des similitudes acoustiques et sensorielles entre les signaux rythmiques de la musique et les signaux rythmiques de la parole sont évoquées dans la littérature. Récemment, Fiveash et al. (2021) ont présenté le modèle théorique PRISM qui suggère d'autres similitudes et notamment des mécanismes neuronaux communs concernant le traitement du rythme de la musique et de la parole. Ce modèle propose trois mécanismes centraux : le traitement auditif précis, la synchronisation des oscillations neuronales avec des stimuli rythmiques externes et le couplage sensorimoteur. Ces trois mécanismes sont associés et interagissent entre eux. Le traitement auditif précis permet la discrimination fine d'éléments. C'est la capacité à percevoir un changement précis dans le temps, en hauteur et en timbre (Kraus & Chandrasekaran, 2010). Fiveash et al. (2021) ont étudié l'effet de l'entraînement musical et mettent en évidence un effet bénéfique notamment dans la segmentation de la parole ainsi que dans les compétences phonologiques. Cela suggère que le rythme musical nécessite un traitement très précis qui peut être transféré au rythme de la parole. Ainsi, l'amélioration du traitement auditif précis serait possible suite à un entraînement rythmique.

À la suite de l'écoute d'un rythme, des oscillations neuronales sont observées et jouent un rôle dans le traitement de la musique et de la parole. En effet, il a été prouvé que ces oscillations sont présentes lors de rythmes isochrones comme la musique (Ding et al., 2016), mais aussi avec un rythme moins précis comme celui de la parole (Keitel et al., 2018). Ces oscillations impliquent une certaine attention temporelle et jouent un rôle dans la prédiction d'éléments à venir. Ainsi, Fiveash et al. (2021) suggèrent que l'entraînement avec un rythme isochrone comme la musique permet d'entraîner les oscillations neuronales de façon suffisamment durable pour que cela puisse avoir une influence sur le traitement langagier.

Enfin, le troisième mécanisme représente le lien entre perception et production qui se produit dans le cerveau. Il existe une forte activation des zones motrices lors d'une simple écoute de la musique, qui sont également activées lorsque nous entendons parler (Wilson et al., 2004). Ce troisième mécanisme est très important pour ce mémoire, car il suggère que si la perception est améliorée, elle aura une influence sur la production. Par ailleurs, Nombela et al. (2013) décrivent le lien entre perception du rythme et mouvement. En effet, la stimulation auditive rythmique, (Rhythmic Auditory Stimulation, RAS) qui est une technique utilisée en kinésithérapie, permet d'améliorer la marche ainsi que d'autres comportements moteurs chez les personnes atteintes d'une maladie de Parkinson. Il existe des connexions entre les systèmes auditif et moteur qui impliquent le cortex auditif, le cortex prémoteur, l'aire motrice supplémentaire, le cervelet ainsi que les

ganglions de la base (Nombela et al., 2013). Par ailleurs, l'hypothèse ASAP (Action Simulation for Auditory Prediction) suggère que le cortex auditif transmettrait des signaux aux régions motrices, notamment au cortex prémoteur et à l'aire motrice supplémentaire, ainsi qu'au putamen. Ces informations permettraient aux régions motrices de planifier un mouvement, sans forcément produire un mouvement, pour finalement renvoyer cette planification motrice au cortex auditif (Patel & Iversen, 2014).

À ce sujet, selon une étude de Falk et al. (2017), le rythme musical perçu permettrait de faciliter le traitement d'une phrase présentée auditivement chez des participants sains. L'expérience consistait à écouter un rythme régulier ou irrégulier, suivi de la présentation d'un énoncé verbal en français dont le rythme correspondait à celui de l'indice régulier. Pour le traitement de la phrase écoutée, une tâche de décision était proposée aux participants afin de décider si le mot proposé était bien présent dans la phrase entendue précédemment. Les résultats montrent que l'écoute de l'amorçage régulier modifie la réponse neuronale à des fréquences critiques, par rapport à la condition irrégulière. Cette modification se maintient lors du traitement de l'énoncé présenté. En conséquence, l'écoute d'un amorçage rythmique musical régulier pourrait influencer la manière dont notre cerveau réagit aux rythmes de la parole.

Cependant, ce bénéfice de l'amorçage rythmique n'a pas encore été démontré dans le cas de la production de la parole lors d'une dysarthrie. Mais cela pourrait constituer une piste prometteuse d'un traitement thérapeutique orthophonique.

4. Buts et hypothèse

Les études rapportent que les ganglions de la base et le cervelet sont impliqués dans l'expression de la prosodie, mais peu d'études expliquent le rôle des mécanismes neurocognitifs sous-jacents. L'objectif est donc de mieux comprendre l'implication du cervelet. Plus particulièrement, il s'agit d'examiner si une amorce rythmique non linguistique a un effet sur la parole de personnes atteintes d'une dégénérescence cérébelleuse. Comme décrit précédemment, le cervelet aurait un rôle crucial pour la synchronisation motrice, mais aussi pour le traitement des informations auditives qui soutiennent des tâches de communication plus complexes. Ainsi, une atteinte cérébelleuse entraînerait une incapacité à s'ajuster à des signaux rythmiques réguliers.

Nous nous focalisons sur les proéminences afin d'étudier la production de PA dans trois conditions d'amorçage : la condition d'amorce régulière qui est congruente avec la structure rythmique des phrases cibles, la condition d'amorce irrégulière qui n'est pas congruente avec les phrases cibles et une condition sans amorce. De manière plus générale, cela permet d'examiner la structure prosodique des énoncés en français (Di Cristo, 2013) à la suite d'un amorçage rythmique. Si le cervelet joue un rôle important dans la convergence rythmique en présence d'un interlocuteur (Späth et al., 2022), la condition d'amorce régulière ne doit pas favoriser la production de la structure prosodique congruente avec l'amorce chez les personnes avec une dégénérescence cérébelleuse.

Méthode

1. Population

Ce mémoire porte sur l'analyse de quatre participants. Ils ont été recrutés au sein du Centre Hospitalier Régional Universitaire de Lille avec l'aide du Professeur Devos ainsi que celle du Professeur Moreau. Le protocole a été administré à des patients atteints d'une dégénérescence cérébelleuse et de la maladie de Parkinson. Cependant, seuls les participants atteints d'une dégénérescence cérébelleuse sont analysés dans cette étude. L'ensemble des participants étaient de langue maternelle française. Les autres critères d'inclusion étaient les suivants : une vue normale ou corrigée, l'absence de troubles auditifs ou cognitifs majeurs, vérifiée respectivement par une audiométrie tonale et la Montréal Cognitive Assesment (Nasreddine et al., 2005) et l'absence de trouble de la lecture pouvant interférer avec la tâche demandée. Le premier participant, désigné C1, est un homme âgé de 48 ans au moment de l'expérience. Les autres participantes, identifiées comme C2, C3 et C4, sont des femmes âgées respectivement de 67, 64 et 30 ans. En ce qui concerne leur score au MoCA, les résultats obtenus sont les suivants : 21, 26, 29 et 24. Les seuils auditifs moyens mesurés en décibels pour chaque sujet sont 12,5 ; 17,5 ; 8,75 et de 8,75. L'ensemble des participants ont des seuils auditifs qui correspondent à une audition normale (de 0 à 20 dB). Des informations supplémentaires relatives aux participants sont fournies dans l'Annexe 1. La lecture d'une lettre d'information ainsi qu'un formulaire de consentement ont été présentés aux participants avant chaque passation (cf. Annexe 2 et Annexe 3).

2. Matériel

2.1. Matériel langagier

Quarante-cinq phrases-cibles ont été créées pour l'expérience. Chaque phrase contient quatre PA de trois syllabes, autrement dit, un PI de douze syllabes. Ainsi, les phrases ont une structure métrique de cette forme : « xxXxxXxxXxxX ». De ce fait, « x » correspond à une syllabe non proéminente et « X » à une syllabe proéminente. Ces phrases, dites cibles, ont une structure sémantique déclarative et sont congruentes avec le rythme musical régulier. Le matériel langagier est également composé de neuf phrases distractives ayant une structure prosodiquement et syntaxiquement (phrases impératives) différente des phrases cibles. Elles sont issues du corpus Fharvard (Aubanel et al., 2020). Le but étant d'éviter que les participants ne s'habituent à la structure particulière des phrases-cibles.

Les phrases sont réparties en trois listes dont la fréquence lexicale, le nombre de lettres et de phonèmes ne diffèrent pas. Un contrebalancement a été effectué pour que chaque phrase soit associée à toutes les conditions d'amorçage et dans tous les ordres possibles. Durant l'expérience, chacune des trois listes contient quinze items cibles et trois items distracteurs.

2.2. Matériel musical

Deux types d'amorce sont utilisés. La première correspond à un motif régulier ayant la même structure métrique que les phrases-cibles, c'est-à-dire « xxXxxXxxXxxX ». Ce qui signifie que le

motif comporte deux sons avec une durée et un timbre qui diffèrent. Tantôt le son correspond aux syllabes accentuées (X) tantôt aux syllabes non accentuées (x). Il s'agit d'un son de percussions dans le but de limiter les indices prosodiques. Les amorces irrégulières se caractérisent par des sons accentués et non accentués selon un emplacement aléatoire. Ces sons sont générés à l'aide d'un logiciel de musique sur ordinateur et leur durée est de 2,4 ms. Une troisième condition est dite « sans condition », puisqu'il s'agit d'une amorce silencieuse.

3. Procédure

La passation durait environ une heure et s'effectuait dans une pièce calme au sein du CHRU. Dans un premier temps, elle commençait par une relecture de la lettre d'information suivie d'une signature du formulaire de consentement. Le participant disposait du temps nécessaire pour prendre connaissance des informations. Nous présentions brièvement le déroulement de l'expérience et répondions aux éventuelles questions. Un code a été attribué à chaque participant afin de garantir son anonymisation. Dans un second temps, le participant répondait à un questionnaire pour vérifier les critères d'inclusion et d'exclusion. La MoCA (Nasreddine et al., 2005) était ensuite administrée afin de contrôler l'absence de trouble cognitif majeur. L'expérience était ensuite proposée. Le participant était placé face à un ordinateur à une distance d'environ 50 cm. Il portait un microphone serre-tête cardioïde SHURE SM35, directement connecté à une carte son MOTU M2, elle-même branchée à l'ordinateur, afin d'enregistrer automatiquement les productions vocales du participant. Nous commençons par la lecture d'une phrase test afin de régler le son de l'ordinateur pour le confort du participant, ainsi que celui reçu par le microphone pour un enregistrement correct. Les consignes étaient présentées une première fois à l'oral, ainsi que sur l'écran de l'ordinateur. La tâche demandée consistait d'abord à faire écouter une amorce (ou un silence selon l'essai) diffusée par les haut-parleurs de l'ordinateur. Durant cette condition d'amorçage, l'écran présentait une croix blanche sur fond noir. Ensuite, une phrase s'affichait sur l'écran que le participant devait lire le plus rapidement possible à voix haute. Après la lecture, le participant appuyait sur la touche espace du clavier afin de passer à l'essai suivant. Un essai correspondait à une amorce ou un silence, suivi d'une phrase à lire à voix haute. Un entraînement composé de trois essais était proposé avant de débiter l'expérience. Des pauses étaient prévues durant l'épreuve et il était précisé aux participants qu'ils pouvaient arrêter à tout moment l'expérience s'ils le souhaitaient.

Concernant la présentation des phrases, les phrases cibles et distractives étaient réparties en trois listes. Chaque liste était associée à une condition d'amorçage. Une liste était associée à l'amorce régulière, une autre à l'amorce irrégulière et une autre liste avait la condition sans amorce. Selon les participants, l'ordre de présentation des phrases pour chaque liste était aléatoire et l'association des conditions d'amorçage selon la liste était différente.

Un test d'audiométrie tonale a été proposé pour recueillir les seuils auditifs moyens. Nous avons également évalué l'activité musicale du participant (musique, chant, danse) à l'aide d'un questionnaire. Le participant remplissait ensuite un questionnaire de dépression gériatrique (Bourque et al., 1990) pour vérifier l'absence de trouble de l'humeur qui pourrait altérer la prosodie. Puis, une analyse perceptive du BECD (Auzou & Rolland-Monnoury, 2011) a été réalisée pour évaluer la sévérité de la dysarthrie. À la fin de l'expérience, un temps d'échange était prévu pour répondre aux questions et discuter au sujet de cette étude. Toutes les informations sur l'objectif spécifique de l'étude ont été données en fin de passation.

4. Analyse des proéminences

Cette étude rassemble un corpus de fichiers audio enregistrés en format .wav. Un enregistrement correspond à une seule phrase produite par un seul locuteur de langue maternelle française. La méthodologie utilisée est celle utilisée dans l'étude de Contreras Roa et al. (2022) et dans celle de Contreras Roa et al. (2023). En résumé, la première étape pour extraire les proéminences a été l'utilisation d'outils sur la plateforme WebMAUS (Kisler et al., 2017) permettant d'annoter automatiquement tous les enregistrements. Ces fichiers TextGrid correspondent à la transcription des enregistrements, auxquels ils ont été associés. Ensuite, la plateforme WebMAUS a permis d'effectuer une transcription phonétique, ainsi qu'un alignement des transcriptions sur le signal sonore. Afin de réaliser la syllabification de notre alignement, nous avons utilisé Pho2Syl (Reichel, 2014).

Ensuite, chaque enregistrement a été réécouté afin d'évaluer si la lecture du locuteur correspondait tout à fait à la phrase à produire. Ce tri nous a permis d'exclure les enregistrements problématiques pour nos analyses. Les critères d'exclusion étaient l'ajout, l'omission, la substitution de phonèmes ou une erreur de lecture. Par ailleurs, seulement les phrases déclaratives ont été analysées.

Par la suite, nous avons effectué une correction manuelle sur Praat (Boersman & Weenink, 2024) des TextGrids reliés à leur enregistrement. Quatre tiers ont ainsi été obtenus et ont fait l'objet d'une correction : une transcription orthographique mot par mot, une transcription phonétique mot par mot, une transcription phonème par phonème, ainsi qu'une transcription phonétique syllabe par syllabe.

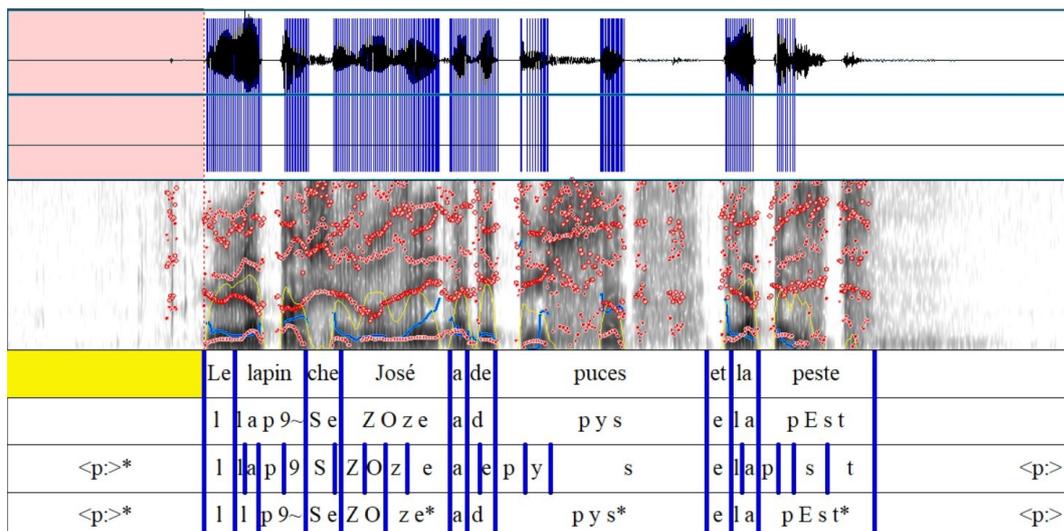


Figure 3 : Correction manuelle sur Praat.

L'étape suivante était la détection automatique des syllabes proéminentes grâce à l'aide de ProsoBox (Goldman & Simon, 2020). ProsoBox considère qu'une syllabe est proéminente selon différents paramètres : la durée de la syllabe, la fréquence fondamentale (F0) notée en semi-ton, les montées mélodiques qui correspondent aux montées de la fréquence fondamentale stylisée du noyau syllabique, ainsi que la pause suivant la syllabe en question. De ce fait, si elle est suffisamment distincte des autres syllabes voisines, à savoir des deux syllabes précédentes ainsi que de la syllabe suivante, l'outil identifie la syllabe comme proéminente.

Résultats

Le nombre total de proéminences est présenté sur la Figure 4. Ces données correspondent aux syllabes cibles et non cibles détectées comme proéminentes. Pour les quatre locuteurs étudiés, dans les trois conditions testées, une tendance claire émerge : les syllabes proéminentes sont plus nombreuses dans la condition d'amorçage régulier par rapport aux deux autres conditions.

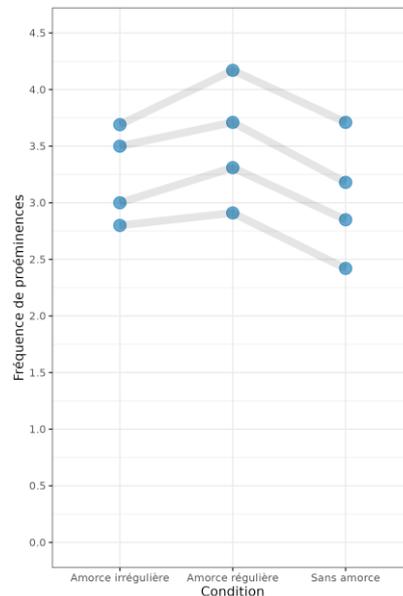


Figure 4 : Nombre de proéminences détectées sur les syllabes cibles et non cibles.

La Figure 5 correspond au nombre de proéminences détectées sur les syllabes cibles 3,6,9 et 12. Pour un locuteur, les proéminences sont plus importantes en condition d'amorçage régulier, en comparaison avec les deux autres conditions. Tandis que chez deux autres participants, la tendance s'inverse, puisque le nombre de proéminences est moins important en condition d'amorçage régulier qu'irrégulier. Le dernier participant a autant de proéminence en condition d'amorçage régulier qu'irrégulier.

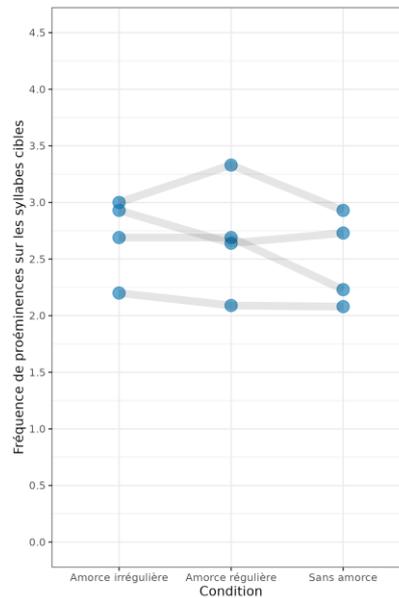


Figure 5 : Nombre de proéminences détectées sur les syllabes cibles.

La Figure 6 présente le nombre de syllabes à la frontière droite des quatre AP identifiées comme proéminentes ou non par locuteur et par condition. On constate une différence du nombre de proéminences selon l'emplacement de la syllabe. En effet, globalement moins de proéminences sont détectées sur la syllabe quatre en comparaison avec les autres syllabes, pour toutes les conditions. Les deuxième et troisième syllabes cibles sont celles où le plus de proéminences ont été détectées de manière générale. On ne constate pas de différence notable entre les conditions.

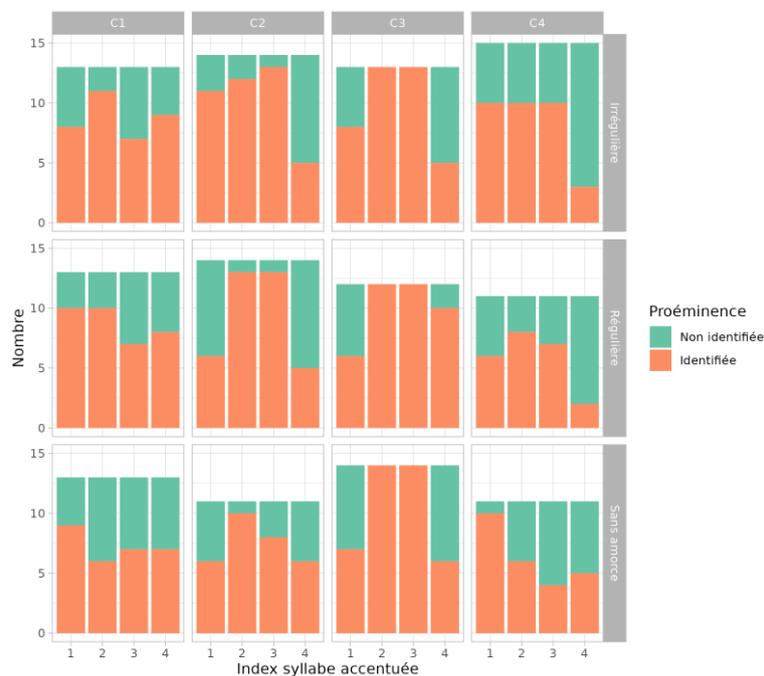


Figure 6 : Nombre de proéminences détectées et non détectées sur les syllabes cibles 3, 6, 9, 12.

La Figure 7 montre une baisse de la fréquence fondamentale pour tous les participants et dans toutes les conditions des syllabes cibles par rapport aux syllabes environnantes à la fin de la phrase.

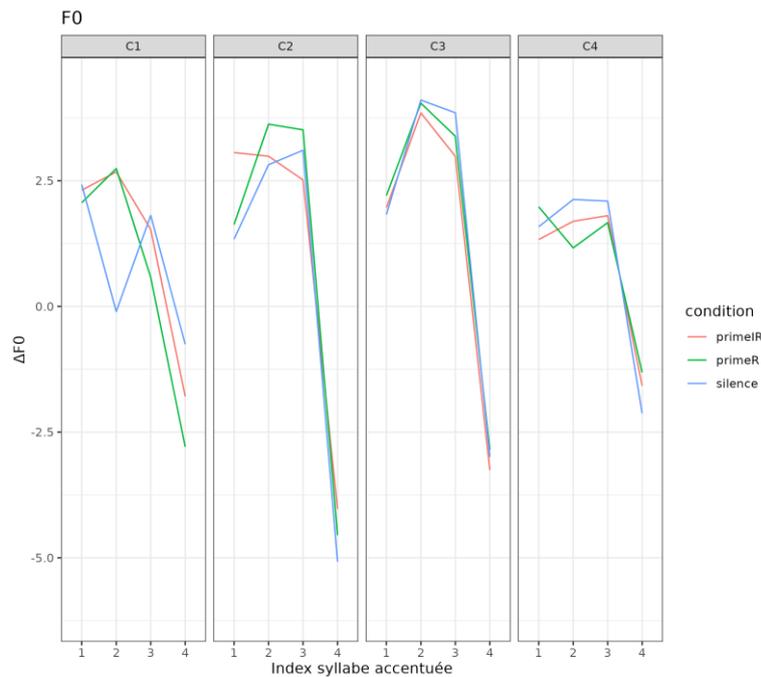


Figure 7 : Différence de fréquence fondamentale des syllabes cibles en comparaison avec les syllabes voisines.

Nous commençons par présenter les résultats de chaque participant ainsi que les syllabes cibles selon les trois conditions. Pour le participant C1, nous observons un plus grand nombre de proéminences détectées en condition d’amorce régulière et irrégulière par rapport à la condition sans amorce. Malgré cela nous ne constatons pas de différence notable entre les amorces régulières et irrégulières. En ce qui concerne les syllabes cibles, nous constatons un nombre plus élevé de proéminences sur la première syllabe en condition régulière. Pour les deuxième et quatrième syllabes, c'est la condition irrégulière qui présente plus de proéminences. Quant à la troisième syllabe, le nombre de proéminences est identique pour chaque condition (Figure 6).

Chez le participant C2, les deuxième et troisième syllabes cibles sont celles présentant le plus de proéminences dans chaque condition. La seule syllabe cible présentant un plus grand nombre de proéminences en condition régulière concerne la deuxième. La troisième syllabe est autant accentuée en condition irrégulière que régulière. Notons qu’il n’y a pas le même nombre de phrases dans la condition sans amorce (Figure 6).

Pour le participant C3, les deuxième et troisième syllabes cibles présentent le plus grand nombre de proéminences, tout comme pour C2. Ce qui distingue C3, c’est que les proéminences sont détectées dans toutes les phrases. Pour la première syllabe, c’est lors de la condition irrégulière qu’il y a davantage de proéminences. À l’inverse, la quatrième syllabe présente le plus de proéminences en condition régulière. Cependant, même si nous constatons un nombre de proéminences en moyenne plus élevé en condition régulière, il n’y pas le même nombre de phrases dans cette condition, en comparaison avec les deux autres (Figure 6).

Le participant C4, présente un nombre de proéminences plus élevé en condition irrégulière pour les trois premières syllabes. La quatrième syllabe est celle où le moins de proéminences sont détectées, dans chaque condition. Toutefois, nous n’avons pas le même nombre de phrases dans chaque condition. De manière générale, le plus grand nombre de proéminences détecté se trouve en condition irrégulière (Figure 6).

Discussion

1. Effets de stimuli rythmiques réguliers

Ce travail avait pour but d'analyser l'impact du rythme musical sur la production de la parole chez des patients ayant une atteinte du cervelet. Pour cela, nous avons étudié l'effet de l'amorçage rythmique sur la prosodie, en examinant en particulier la fréquence et la position des proéminences dans trois conditions d'amorçage : régulier, irrégulier et sans amorce. La tâche demandée était la lecture d'une phrase à voix haute après avoir écouté ou non un rythme musical. Le trop faible nombre de participants a uniquement permis d'effectuer des analyses descriptives.

Les résultats indiquent qu'en condition d'amorçage régulier, la production totale de proéminences est plus importante, malgré le dysfonctionnement cérébelleux. Notre première hypothèse n'est donc pas validée si nous prenons en compte les proéminences détectées sur toutes les syllabes, qu'elles soient cibles ou non. En effet, l'amorce régulière semble avoir un effet chez ces participants atteints d'une dégénérescence cérébelleuse. Ces résultats sont en contradiction avec l'étude de Späth et al. (2022), suggérant que des lésions cérébelleuses inhiberaient les capacités à s'adapter à un discours perçu. Plus précisément, cette étude a mis en évidence que les patients atteints d'une dégénérescence cérébelleuse auraient une propension réduite à imiter le rythme régulier d'un locuteur modèle. C'est pourquoi, ils suggèrent que le cervelet aurait un rôle dans l'adaptation à la parole perçue d'un interlocuteur facilitant la production de la parole interactive. Une autre étude évoque l'implication du cervelet dans le contrôle de la production vocale en se concentrant sur le contrôle rétroactif. Autrement dit, le cervelet utiliserait des informations auditives pour réguler la production vocale (Li et al., 2019). Pour cela, les chercheurs ont analysé l'ajustement de la hauteur vocale des participants ASC et de participants sains. La tâche consistait à leur faire produire des voyelles tout en écoutant en parallèle leur voix avec des changements de la hauteur. Les résultats ont montré des compensations vocales plus importantes chez les participants avec une ASC que chez les sujets sains, mais des réponses corticales dans les régions pariétales droites plus faibles. De ce fait, le cervelet aurait un rôle essentiel dans l'ajustement de la production de la parole en fonction de ce qui est entendu. Ainsi, des lésions au niveau du cervelet perturberaient sa capacité dans le contrôle auditif de la production de la parole. En résumé, ces études ne vont pas dans le sens de nos résultats. Cependant, une comparaison de nos données à ceux d'un groupe contrôle permettrait de mieux comprendre la capacité des patients atteints de dégénérescence cérébelleuse à s'adapter à un rythme perçu.

Par ailleurs, en se focalisant sur les syllabes cibles, qui sont celles supposées recevoir une proéminence afin de marquer la prosodie du français, les résultats ne vont pas dans le même sens. Chez un participant le nombre de proéminences est plus élevé en condition régulière, contrairement aux trois autres sujets. De manière générale, la condition d'amorçage régulier ne semblerait pas avoir d'effet sur les syllabes cibles. En revanche, sans analyse quantitative approfondie, il est difficile d'expliquer ces différences dans la production de proéminences entre les syllabes cibles et l'ensemble des syllabes dans la condition régulière.

Il convient de noter que la comparaison avec les études citées s'avère difficile, car les situations différaient de notre protocole. Dans le protocole de Späth et al. (2022), trois tâches étaient

proposées : une lecture silencieuse de la phrase à répéter ou à produire, une tâche de répétition de phrase après écoute d'un locuteur modèle et enfin une tâche de production de phrase après écoute d'un locuteur prononçant une phrase différente, mais dont le rythme était congruent ou non avec la phrase à produire du participant. Les analyses acoustiques portaient sur le débit et le rythme de parole en comparaison au locuteur modèle. Par ailleurs, l'amorce n'était pas un rythme musical mais une voix préenregistrée.

En outre, ces études incluent des participants atteints d'une ASC, un groupe de maladies héréditaires qui se caractérise par une difficulté à coordonner les mouvements volontaires. Ce sont des maladies rares, génétiquement et cliniquement hétérogènes. Bien qu'il existe une grande diversité des ASC, elles sont toutes caractérisées par un syndrome cérébelleux, parfois associé à un syndrome extra-cérébelleux. Ces pathologies sont d'abord affectées par une dégénérescence du cervelet, mais d'autres structures du système nerveux central peuvent aussi être touchées, comme le tronc cérébral et la moelle épinière (Brendel et al., 2015). La dysarthrie que nous retrouvons le plus souvent dans les ASC est de type ataxique, d'où l'intérêt de les inclure dans la recherche. Or, dans ce mémoire, l'ensemble des participants avait une dégénérescence cérébelleuse, dont une ataxie spino-cérébelleuse et une ataxie de Friedrich.

Il est intéressant de relever que lors de la condition sans amorce, légèrement moins de proéminences sont détectées sur les syllabes cibles et non cibles que lors de la condition avec une amorce irrégulière et régulière, pour la majorité des participants. Cette exception mérite d'être explorée dans des études plus poussées pour comprendre ce qui pourrait influencer la variation des résultats. Nous pourrions nous demander si l'absence d'amorce rythmique pourrait entraîner une production de proéminences moins importante, ou que l'amorce, bien qu'irrégulière, apporte un certain niveau de préparation, d'anticipation ou bien de concentration accrue (Grahn & Brett, 2007).

Par ailleurs, la Figure 6, qui présente le nombre de syllabes identifiées comme proéminentes par le locuteur et par condition, met en évidence moins de proéminences sur la quatrième syllabe en comparaison avec les autres syllabes, pour toutes les conditions. Lorsque nous observons les paramètres acoustiques à l'origine de ces proéminences, la Figure 7 indique une baisse de la fréquence fondamentale des syllabes cibles en fin de phrase intonative pour tous les participants et dans chaque condition. Cela correspond à ce qui est attendu dans la structure prosodique des phrases déclaratives en français, généralement marquée par une intonation descendante et une diminution de la fréquence fondamentale. De plus, cela est cohérent avec les conclusions de l'article de Schalling et al. (2007). Cette étude inclut des participants atteints d'ASC, de langue maternelle anglaise ou suédoise et présentant une dysarthrie légère à modérée. Les chercheurs ont étudié des échantillons de parole afin d'analyser différents paramètres acoustiques. Or, les résultats de cette étude n'indiquent pas de différence significative des mesures de la fréquence fondamentale entre les participants atteints d'ASC et les participants contrôles. Cependant, les participants atteints d'ASC présentent une monotonie significativement différente du groupe contrôle. Cette variabilité dans la monotonie (caractéristique prosodique), pourrait s'expliquer par une autre caractéristique acoustique que la fréquence fondamentale, comme la durée des syllabes.

2. Limites et perspectives

Les résultats obtenus à partir de ce mémoire doivent être interprétés avec prudence, car ils ne peuvent pas être généralisés à une population plus large sans des recherches supplémentaires avec des échantillons plus importants. Une étude incluant un nombre plus grand de participants, ainsi qu'un groupe contrôle, dont les deux groupes seraient appariés, serait une solution pour poursuivre l'étude du rôle du cervelet. Une autre possibilité, serait d'inclure également un groupe avec des participants atteints de la maladie de Parkinson, comme dans l'article de Späth et al. 2022. L'objectif serait de prouver que des mécanismes compensatoires impliquant le cervelet permettraient de synchroniser le mouvement avec le rythme notamment chez des patients atteints de la pathologie de Parkinson (Kotz & Gunter, 2015).

Les paramètres utilisés pour détecter le nombre de proéminences sont les plus pertinents, mais n'ont pas été étudiées sur un groupe de participants avec une atteinte cérébelleuse de langue maternelle française. De ce fait, nous n'avons pas de données auxquelles se référer pour comparer.

Une autre perspective envisageable, serait de faire le lien avec la sévérité de la dysarthrie. Cela permettrait de confirmer ou non, les résultats de Späth et al. (2022) qui indiquent qu'il n'y a pas de lien entre la sévérité de la dysarthrie chez les patients avec ASC et le niveau d'adaptation au rythme et donc qu'un dysfonctionnement du cervelet ne serait pas uniquement attribuable à des limitations motrices. Une autre possibilité serait de recruter des participants avec un score musical élevé afin d'examiner si cela peut avoir un effet sur le rythme et la parole.

3. Implications pour la pratique clinique

La littérature scientifique fournit beaucoup de preuves au sujet de l'effet bénéfique du rythme en lien avec la parole, mais il existe encore peu d'études concernant les mécanismes neurocognitifs sous-jacents. Certaines études ont montré que des mécanismes compensatoires impliquant le cervelet permettraient de synchroniser le mouvement avec le rythme malgré un dysfonctionnement des ganglions de la base, comme c'est le cas dans la maladie de Parkinson (Kotz & Gunter, 2015). L'étude de ces mécanismes sous-jacents a une implication clinique, à savoir : améliorer le diagnostic, le pronostic ainsi que la rééducation des troubles de la prosodie chez des patients atteints de la maladie de Parkinson et de la même façon, chez des patients ayant une dysarthrie ataxique.

Concernant le diagnostic de la dysarthrie ataxique ou hypokinétique (lors d'une maladie de Parkinson), peu d'outils permettent une évaluation reposant sur des critères objectifs, notamment acoustiques. C'est le cas de la Batterie d'Evaluation Clinique de la Dysarthrie (Auzou & Rolland-Monnoury, 2011), qui elle repose essentiellement sur une analyse perceptive de l'évaluateur. Une seconde batterie existe, le protocole MonPage (Trouville et al., 2021). Ce protocole permet une analyse acoustique de la parole pour les adultes parlant le français, dont une épreuve permet d'examiner la prosodie. Néanmoins, des recherches ont montré qu'elle n'était pas suffisamment discriminante (Laganaro et al., 2021). Il existe également peu de données permettant de discriminer les sous-types de troubles de la parole auxquelles se référer dans cette batterie. C'est pourquoi, il semble essentiel d'étudier les paramètres les plus sensibles afin de mieux différencier les

dysarthries. D'autre part, des recherches poussées sur la dysarthrie ataxique permettraient de contribuer au diagnostic, par exemple pour différencier les sous-types d'ASC.

Ces recherches pourraient être utiles pour surveiller la progression de la maladie. Par ailleurs, une meilleure compréhension des mécanismes sous-jacents impliqués dans la parole est nécessaire pour une meilleure prise en soin reposant sur l'Evidence Based Practice. Ces recherches auraient aussi un impact sociétal, en visant à améliorer les capacités de communication. Cela apporterait une meilleure qualité de vie, par conséquent une meilleure participation dans la société des personnes ayant un trouble de la prosodie.

Les intérêts sont donc multiples et les études permettraient de contribuer au développement d'une thérapie basée sur le rythme. Plus largement, les recherches sur le rôle du cervelet et en particulier sur sa capacité à se synchroniser avec un rythme pourraient également contribuer à d'autres pathologies, comme chez les personnes ayant un bégaiement (Bradshaw & McGettigan, 2021).

Conclusion

L'objectif de ce mémoire était de mieux comprendre le rôle du cervelet et en particulier d'étudier si un rythme musical avait une influence sur la production de la parole des patients présentant une dégénérescence cérébelleuse. Pour cela, nous avons analysé la fréquence et la position des proéminences dans les PA afin d'étudier la structure prosodique des productions. Nous avons fait passer un protocole à quatre participants, dont la tâche consistait à lire à voix haute des phrases après avoir écouté une amorce ou un silence. Trois conditions d'amorçage étaient présentées avant la tâche de lecture. L'amorce régulière était congruente à la phrase cible, l'amorce irrégulière n'était pas congruente à la phrase cible et la dernière condition correspondait à une situation sans amorce.

La méthodologie utilisée était identique aux études de Contreras Roa et al. (2022) et Contreras Roa et al. (2023). Les proéminences ont été détectées à la suite d'analyses acoustiques de différents paramètres grâce à la plateforme WebMAUS (Kisler et al., 2017). Puis, une correction manuelle a été effectuée.

L'analyse des résultats était uniquement descriptive en raison du faible nombre de participants. Les résultats ne sont donc pas représentatifs et les données ne permettent pas de valider notre hypothèse. En effet, le nombre de proéminences détecté sur l'ensemble des syllabes cibles et non cibles est plus important en condition d'amorçage régulier. Ces données ne vont donc pas dans le sens de la littérature, qui rapporte que les patients avec une dégénérescence cérébelleuse seraient insensibles au rythme perçu (Späth et al., 2022). Néanmoins, cela concorde avec les études indiquant qu'un rythme régulier a une influence sur la production de la parole. Ces données sont donc encourageantes concernant le potentiel bénéfique de l'amorçage rythmique. Bien que d'autres études suggèrent que cette influence implique des structures cérébelleuses intactes.

Cette étude est à approfondir, d'une part parce que l'analyse de la dysprosodie selon l'approche hiérarchique a peu été étudiée (Frota et al., 2021), en particulier dans la langue française. D'autre part, parce que le lien entre la perception d'un rythme et la production de la parole n'a pas été prouvé (Koshimori & Thaut, 2018). En plus de cela, si le cervelet et les

ganglions de la base jouent un rôle dans la production et dans la perception du rythme, peu d'études ont expliqué leur rôle dans la prosodie. Or, l'étude de ces structures permettrait d'apporter des preuves sur la pertinence de l'utilisation d'un rythme en rééducation auprès de patients avec des fonctions cérébelleuses intactes. À plus long terme, cela pourrait devenir une piste prometteuse d'intervention orthophonique.

Bibliographie

- Aubanel, V., Bayard, C., Strauß, A., & Schwartz, J.-L. (2020). The Fharvard corpus : A phonemically-balanced French sentence resource for audiology and intelligibility research. *Speech Communication, 124*, 68-74. <https://doi.org/10.1016/j.specom.2020.07.004>
- Auzou, P., & Rolland-Monnoury, V. (2011). *Batterie d'évaluation clinique de la dysarthrie*. Ortho éd.
- Bijsterbosch, J. D., Lee, K.-H., Hunter, M. D., Tsoi, D. T., Lankappa, S., Wilkinson, I. D., Barker, A. T., & Woodruff, P. W. R. (2011). The Role of the Cerebellum in Sub- and Supraliminal Error Correction during Sensorimotor Synchronization : Evidence from fMRI and TMS. *Journal of Cognitive Neuroscience, 23*(5), 1100-1112. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21506>
- Boersman, P., & Weenink, D. (2024). *Praat : Doing phonetics by computer [Computer program]* (6.4.12) [Logiciel].
- Bourque, P., Blanchard, L., & Vézina, J. (1990). Étude psychométrique de l'Échelle de dépression gériatrique. *Canadian Journal on Aging / La Revue Canadienne Du Vieillissement, 9*(4), 348-355. <https://doi.org/10.1017/S0714980800007467>
- Bradshaw, A. R., & McGettigan, C. (2021). Convergence in voice fundamental frequency during synchronous speech. *PLOS ONE, 16*(10), e0258747. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258747>
- Brendel, B., Synofzik, M., Ackermann, H., Lindig, T., Schölderle, T., Schöls, L., & Ziegler, W. (2015). Comparing speech characteristics in spinocerebellar ataxias type 3 and type 6 with Friedreich ataxia. *Journal of Neurology, 262*(1), 21-26. <https://doi.org/10.1007/s00415-014-7511-8>
- Brodal, P., & Bjaalie, J. G. (1997). Chapter 13 Salient anatomic features of the cortico-ponto-

- cerebellar pathway. In *Progress in Brain Research* (Vol. 114, p. 227-249). Elsevier.
[https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)63367-1](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)63367-1)
- Chiss, J.-L., Filliolet, J., Maingueneau, D., & Chiss, J.-L. (2016). *Notions fondamentales, phonétique, lexicque* (Nachdruck). Hachette Supérieur.
- Contreras Roa, L., Mairano, P., Moreau, C., & Basirat, A. (2022). Impact de l'amorçage rythmique sur la production de la parole chez des personnes atteintes de la maladie de Parkinson : Étude pilote. *XXXIVe Journées d'Études Sur La Parole -- JEP 2022*, 578-587.
<https://doi.org/10.21437/JEP.2022-61>
- Contreras Roa, L., Mairano, P., Moreau, C., & Basirat, A. (2023). *A bimodal approach to study the effects of rhythmic priming*. pp.3922-3926.
- Darley, F. L., Aronson, A. E., & Brown, J. R. (1969). Clusters of Deviant Speech Dimensions in the Dysarthrias. *Journal of Speech and Hearing Research*, 12(3), 462-496.
<https://doi.org/10.1044/jshr.1203.462>
- Darley, F. L., Aronson, A. E., & Brown, J. R. (1975). Motor speech disorders. *W.B.Saunders and CO*.
- Delais-Roussarie, E., Post, B., Avanzi, M., Buthke, C., Di Cristo, A., Feldhausen, I., Jun, S.-A., Martin, P., Meisenburg, T., Rialland, A., Sichel-Bazin, R., & Yoo, H.-Y. (2015). Intonational phonology of French : Developing a ToBI system for French. In S. Frota & P. Prieto (Éds.), *Intonation in Romance* (p. 63-100). Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199685332.003.0003>
- Di Cristo, A. (2004). La prosodie au carrefour de la phonétique, de la phonologie et de l'articulation formes-fonctions. *Travaux interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage*, 23, 67-211.
- Di Cristo, A. (2013). *La prosodie de la parole*. De Boeck ; Solal.
- Ding, N., Melloni, L., Zhang, H., Tian, X., & Poeppel, D. (2016). Cortical tracking of hierarchical

- linguistic structures in connected speech. *Nature Neuroscience*, 19(1), 158-164.
<https://doi.org/10.1038/nn.4186>
- Doyon, J., & Benali, H. (2005). Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills. *Current Opinion in Neurobiology*, 15(2), 161-167.
<https://doi.org/10.1016/j.conb.2005.03.004>
- Duffy, J. R. (2020). *Motor speech disorders : Substrates, differential diagnosis, and management* (Fourth edition). Elsevier.
- Falk, S., Lanzilotti, C., & Schön, D. (2017). Tuning Neural Phase Entrainment to Speech. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 29(8), 1378-1389. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01136
- Fiveash, A., Bedoin, N., Gordon, R. L., & Tillmann, B. (2021). Processing rhythm in speech and music : Shared mechanisms and implications for developmental speech and language disorders. *Neuropsychology*, 35(8), 771-791. <https://doi.org/10.1037/neu0000766>
- Frota, S., Cruz, M., Cardoso, R., Guimarães, I., Ferreira, J., Pinto, S., & Vigário, M. (2021). (Dys)Prosody in Parkinson's Disease : Effects of Medication and Disease Duration on Intonation and Prosodic Phrasing. *Brain Sciences*, 11(8), 1100.
<https://doi.org/10.3390/brainsci11081100>
- Goldman, J.-P., & Simon, A. C. (2020). ProsoBox, a Praat Plugin for Analysing Prosody. *Speech Prosody 2020*, 1009-1013. <https://doi.org/10.21437/SpeechProsody.2020-206>
- Grahn, J. A., & Brett, M. (2007). Rhythm and Beat Perception in Motor Areas of the Brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(5), 893-906. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.5.893>
- Guediche, S., Holt, L. L., Laurent, P., Lim, S.-J., & Fiez, J. A. (2015). Evidence for Cerebellar Contributions to Adaptive Plasticity in Speech Perception. *Cerebral Cortex*, 25(7), 1867-1877. <https://doi.org/10.1093/cercor/bht428>
- Guenther, F. H. (2016). *Neural Control of Speech*. The MIT Press.
<https://doi.org/10.7551/mitpress/10471.001.0001>

- Harrington, J., Gubian, M., Stevens, M., & Schiel, F. (2019). Phonetic change in an Antarctic winter. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *146*(5), 3327-3332.
<https://doi.org/10.1121/1.5130709>
- Jun, S.-A., & Fougeron, C. (2000). A Phonological Model of French Intonation. In A. Botinis (Éd.), *Intonation* (Vol. 15, p. 209-242). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4317-2_10
- Keitel, A., Gross, J., & Kayser, C. (2018). Perceptually relevant speech tracking in auditory and motor cortex reflects distinct linguistic features. *PLOS Biology*, *16*(3), e2004473.
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2004473>
- Kisler, T., Reichel, U., & Schiel, F. (2017). Multilingual processing of speech via web services. *Computer Speech & Language*, *45*, 326-347. <https://doi.org/10.1016/j.csl.2017.01.005>
- Koshimori, Y., & Thaut, M. H. (2018). Future perspectives on neural mechanisms underlying rhythm and music based neurorehabilitation in Parkinson's disease. *Ageing Research Reviews*, *47*, 133-139. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2018.07.001>
- Kotz, S. A., & Gunter, T. C. (2015). Can rhythmic auditory cuing remediate language-related deficits in Parkinson's disease? : Rhythmic auditory cuing and language. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1337*(1), 62-68. <https://doi.org/10.1111/nyas.12657>
- Kraus, N., & Chandrasekaran, B. (2010). Music training for the development of auditory skills. *Nature Reviews Neuroscience*, *11*(8), 599-605. <https://doi.org/10.1038/nrn2882>
- Lacheret, A., Avanzi, M., Goldman, P., Simon, C., & Auchlin, A. (2007). Méthodologie et algorithmiques pour la détection automatique des syllabes proéminentes dans les corpus de français parlé. *Cahiers of French Language Studies*, *13*(2), 2-30.
- Lacheret, A., Obin, N., Goldman, J.-P., & Avanzi, M. (2008). *Comparaison de trois outils de détection automatique de proéminences en français parlé*.
- Laganaro, M., Fougeron, C., Pernon, M., Levêque, N., Borel, S., Fournet, M., Catalano Chiuvé, S.,

- Lopez, U., Trouville, R., Ménard, L., Burkhard, P. R., Assal, F., & Delvaux, V. (2021). Sensitivity and specificity of an acoustic- and perceptual-based tool for assessing motor speech disorders in French : The MonPaGe-screening protocol. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 35(11), 1060-1075. <https://doi.org/10.1080/02699206.2020.1865460>
- Levinson, S. C., & Toni, I. (2019). Key Issues and Future Directions : Interactional Foundations for Language. In P. Hagoort (Éd.), *Human Language* (p. 257-262). The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/10841.003.0023>
- Li, W., Zhuang, J., Guo, Z., Jones, J. A., Xu, Z., & Liu, H. (2019). Cerebellar contribution to auditory feedback control of speech production : Evidence from patients with spinocerebellar ataxia. *Human Brain Mapping*, 40(16), 4748-4758. <https://doi.org/10.1002/hbm.24734>
- Miller, H. E., & Guenther, F. H. (2021). Modelling speech motor programming and apraxia of speech in the DIVA/GODIVA neurocomputational framework. *Aphasiology*, 35(4), 424-441. <https://doi.org/10.1080/02687038.2020.1765307>
- 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>
- Nombela, C., Hughes, L. E., Owen, A. M., & Grahn, J. A. (2013). Into the groove : Can rhythm influence Parkinson's disease? *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(10), 2564-2570. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.08.003>
- Parrell, B., Agnew, Z., Nagarajan, S., Houde, J., & Ivry, R. B. (2017). Impaired Feedforward Control and Enhanced Feedback Control of Speech in Patients with Cerebellar Degeneration. *The Journal of Neuroscience*, 37(38), 9249-9258. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3363-16.2017>

- Patel, A. D., & Iversen, J. R. (2014). The evolutionary neuroscience of musical beat perception : The Action Simulation for Auditory Prediction (ASAP) hypothesis. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2014.00057>
- Reichel, U. D. (2014). *Language-independent grapheme-phoneme conversion and word stress assignment as a web service*. [object Object]. <https://doi.org/10.5282/UBM/EPUB.22780>
- Robertson, S. J., Thomson, F., & Auzou, P. (1999). *Rééduquer les dysarthriques*. l'Ortho-éd.
- Schalling, E., Hammarberg, B., & Hartelius, L. (2007). Perceptual and acoustic analysis of speech in individuals with spinocerebellar ataxia (SCA). *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 32(1), 31-46. <https://doi.org/10.1080/14015430600789203>
- Späth, M., Aichert, I., Timmann, D., Ceballos-Baumann, A. O., Wagner-Sonntag, E., & Ziegler, W. (2022). The role of the basal ganglia and cerebellum in adaptation to others' speech rate and rhythm : A study of patients with Parkinson's disease and cerebellar degeneration. *Cortex*, 157, 81-98. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2022.08.012>
- Stephens, G. J., Silbert, L. J., & Hasson, U. (2010). Speaker–listener neural coupling underlies successful communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(32), 14425-14430. <https://doi.org/10.1073/pnas.1008662107>
- Trouville, R., Delvaux, V., Fougeron, C., & Laganaro, M. (2021). *Logiciel d'évaluation de la parole (version screening) MonPaGe-2.0.s [Computer program]* [Logiciel]. <https://lpp.in2p3.fr/monpage/>
- Van Overwalle, F., Manto, M., Cattaneo, Z., Clausi, S., Ferrari, C., Gabrieli, J. D. E., Guell, X., Heleven, E., Lupo, M., Ma, Q., Michelutti, M., Olivito, G., Pu, M., Rice, L. C., Schmahmann, J. D., Siciliano, L., Sokolov, A. A., Stoodley, C. J., Van Dun, K., ... Leggio, M. (2020). Consensus Paper : Cerebellum and Social Cognition. *The Cerebellum*, 19(6), 833-868. <https://doi.org/10.1007/s12311-020-01155-1>
- Wilson, S. M., Saygin, A. P., Sereno, M. I., & Iacoboni, M. (2004). Listening to speech activates

motor areas involved in speech production. *Nature Neuroscience*, 7(7), 701-702.

<https://doi.org/10.1038/nn1263>

Ziegler, W. (2016). The Phonetic Cerebellum. In *The Linguistic Cerebellum* (p. 1-32). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801608-4.00001-3>

