



HAL
open science

Synchronisation au rythme de la musique et effet du contexte social dans la maladie d'Alzheimer et le vieillissement physiologique

Matthieu Ghilain

► **To cite this version:**

Matthieu Ghilain. Synchronisation au rythme de la musique et effet du contexte social dans la maladie d'Alzheimer et le vieillissement physiologique. Psychologie. Université de Lille, 2019. Français. NNT : 2019LILUH061 . tel-03505910

HAL Id: tel-03505910

<https://theses.hal.science/tel-03505910>

Submitted on 1 Jan 2022

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

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



Université de Lille

Ecole doctorale des Sciences de l'Homme et de la Société

Laboratoire Psychologie : Interactions, Temps, Emotions, Cognition (PSITEC)

Thèse en vue de l'obtention du grade de docteur

Discipline : Psychologie

Synchronisation au rythme de la musique et effet du contexte social dans la maladie d'Alzheimer et le vieillessement physiologique

Présentée par **Matthieu GHILAIN**

Sous la direction de Pr. Séverine SAMSON

Soutenance le 20 novembre 2019 devant le jury :

Rapporteur : Pr. Simone DALLA BELLA (Université de Montréal)

Rapporteur : Pr. Marc LEMAN (Université de Gand)

Présidente du jury : Dr. Loris SCHIARATURA (Université de Lille)

Examinatrice : Dr. Nathalie EHRLÉ (CHU de Reims)

Directrice de thèse : Pr. Séverine SAMSON (Université de Lille)

Cette thèse a reçu le soutien financier de la région des Hauts-de-France ainsi que de l'Université de Lille.

Résumé

Dans les interventions musicales réalisées auprès de personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer ou de maladies apparentées, il est fréquemment demandé aux participants de bouger au rythme de la musique. La synchronisation au rythme musical, particulièrement en groupe, implique des réponses à différents niveaux (moteur, rythmique, social et émotionnel) et pourrait procurer du plaisir ainsi que renforcer les liens sociaux des patients et de leur entourage. Cependant, la synchronisation au rythme de la musique et le lien qui pourrait exister entre ces différents niveaux de la réponse à cette activité sont peu connus dans la maladie d'Alzheimer. L'objectif de cette thèse est d'examiner les différents aspects du comportement des personnes avec une maladie d'Alzheimer (ou maladies apparentées) et des participants avec un vieillissement physiologique 'normal' au cours d'une activité de synchronisation au rythme musical réalisée en action conjointe avec un musicien. L'approche préconisée dans ce travail se base sur une méthode pluridisciplinaire incluant les sciences du mouvement, la psychologie sociale et la neuropsychologie. En premier lieu, nous avons étudié l'effet du contexte social et de la musique (et de ses caractéristiques temporelles) sur les performances de synchronisation et sur l'engagement social, émotionnel, rythmique et moteur de personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer dans cette activité (**étude 1 chapitre 4 et 5**). Les résultats ont montré que la présence physique d'une chanteuse réalisant la tâche de synchronisation avec le participant modulait différemment les performances de synchronisation et la qualité de la relation sociale et émotionnelle par comparaison à un enregistrement audio-visuel de cette chanteuse. Cet effet du contexte social était d'ailleurs plus important en réponse à la musique qu'au métronome et était modulé par le tempo et la métrique. De plus, nous avons trouvé que la musique augmentait l'engagement rythmique des participants par comparaison au métronome. Ensuite, nous avons comparé les réponses à la tâche de synchronisation dans le vieillissement pathologique et physiologique (**étude 2 chapitre 6 et 7**). Les résultats ont révélé que les performances de synchronisation ne différaient pas entre les deux groupes suggérant une préservation du couplage audio-moteur dans la maladie d'Alzheimer à travers cette tâche. Bien que la maladie réduisait l'engagement moteur, social et émotionnel en réponse à la musique par comparaison au vieillissement physiologique, un effet du contexte social était observé sur le comportement dans les deux groupes. Enfin, nous avons comparé les groupes de participants atteints de la maladie d'Alzheimer entre les deux études montrant que la sévérité de la maladie pouvait altérer la synchronisation et l'engagement dans l'activité (**chapitre 8**). En conclusion, ce travail de thèse a mis en évidence que le couplage audio-moteur est en partie préservé chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer et que l'action conjointe avec un partenaire module la qualité de la relation sociale ainsi que l'engagement à la musique. Les connaissances théoriques acquises par ce travail permettent de mieux comprendre l'évolution des comportements en réponse à la musique dans la maladie d'Alzheimer. La méthode mise au point par cette thèse offre ainsi l'opportunité d'évaluer les bénéfices thérapeutiques des interventions musicales à différents niveaux sur le comportement des personnes avec une maladie d'Alzheimer. De telles perspectives permettraient d'améliorer la prise en charge de ces personnes et de leurs aidants.

Mots-clés : Synchronisation, Musique, Maladie d'Alzheimer, Relation sociale et émotionnelle, Rythme

Abstract

Synchronization to musical rhythm and effect of social context in Alzheimer's disease and physiological aging

In musical interventions with people with Alzheimer's disease or related diseases, participants are frequently asked to move to the rhythm of music. Synchronization to musical rhythm, especially in group, involves responses at different levels (motor, rhythmic, social and emotional) and could provide pleasure as well as strengthen social ties amongst the patients and their relatives. However, synchronization to musical rhythm and the possible link between these different levels of response to this activity are not well known in Alzheimer's disease. The objective of this thesis is to examine the different aspects of the behavior of people with Alzheimer's disease (or related diseases) and participants with 'normal' physiological aging during a synchronization activity to musical rhythm performed in joint action with a musician. The chosen approach in this project was based on a multidisciplinary method including movement science, social psychology and neuropsychology. First, we studied the effect of social context and music (and its temporal characteristics) on synchronization performance and on the social, emotional, rhythmic and motor engagement of people with Alzheimer's disease in this activity (**study 1 chapter 4 and 5**). The results showed that the physical presence of a singer performing the synchronization task with the participant modulated synchronization performance and the quality of the social and emotional relationship differently from an audio-visual recording of this singer. This effect of the social context was greater in response to music than to metronome and was modulated as well as by tempo and metric. In addition, we found that music increased rhythmic engagement of the participants compared to metronome. Then, we compared the responses to the synchronization task in pathological and physiological aging (**study 2 chapter 6 and 7**). The results revealed that synchronization performance did not differ between the two groups, suggesting that audio-motor coupling in Alzheimer's disease should be spared through this task. Although the disease reduced motor, social and emotional engagement in response to music compared to physiological aging, an effect of social context was observed on the behavior in both groups. Finally, we compared the groups of participants with Alzheimer's disease between the two studies showing that the severity of the disease could affect synchronization and engagement to music in the activity (**chapter 8**). In conclusion, this thesis has shown that audio-motor coupling is partly spared in people with Alzheimer's disease and that joint action with a partner modulates the quality of the social relationship and the engagement to music. The theoretical knowledge acquired through this work provides a better understanding of the evolution of the behavior in response to music in Alzheimer's disease. The method developed by this thesis thus offers the opportunity to evaluate the therapeutic benefits of musical interventions at different levels on the behavior of people with Alzheimer's disease. Such perspectives would improve the care of these people and their caregivers.

Keywords: Synchronization, Music, Alzheimer's Disease, Social and emotional relationship, Rhythm

Remerciements

Mes premiers remerciements s'adressent avant tout à ma directrice de thèse, Séverine Samson. Merci pour votre supervision et vos précieux conseils tout au long de cette thèse. Merci également pour l'opportunité de contribuer à un projet impliquant autant de domaines. L'expérience et les connaissances acquises grâce à vous m'ont énormément apporté tant au niveau scientifique que personnel.

Je voudrais également exprimer ma gratitude auprès des membres du jury, Pr. Simone Dalla Bella, Pr. Marc Leman, Dr. Loris Schiaratura et Dr. Nathalie Ehrlé, qui ont accepté d'évaluer ce travail. Je remercie en particulier Loris Schiaratura pour ses commentaires et remarques qui m'ont permis de découvrir un domaine dans lequel j'avais peu de connaissances et qui m'a suscité beaucoup d'intérêt.

I would like to thank Pr. Marc Leman and all the team of IPEM (University of Ghent) for hosting me during the beginning of my PhD. I owe a special thanks to Micheline Lesaffre for her insightful advice but also to Ivan Schepers, Joren Six and Frank Desmet for the creation of the material and their help in this work. I am also sincerely grateful to all the staff of the Woon-en Zorgcentrum Home Sint-Franciscus and to Linda Vanderstichele, our singer, for their collaboration during our first study in Kluisbergen.

Je suis également très reconnaissant au Pr. François Puisieux et au Dr. Dominique Huvent ainsi qu'à toute l'équipe de l'hôpital de jour des Bateliers pour leur disponibilité et leur patience dans ce projet qui, suite aux péripéties administratives, n'était pas gagné d'avance. Dans cette aventure à l'hôpital des Bateliers, je remercie en particulier Sotirios Sideris, notre chanteur, pour sa participation et sa flexibilité. Par ta joie de vivre contagieuse auprès de tous, tu as grandement contribué à améliorer cette expérience. I am also especially grateful to Ashmita Singh for her help and involvement in this project. Everything would have been more complicated without you. Thanks for your good mood and your inexhaustible enthusiasm which were precious during stressful times.

Je tiens aussi à remercier toutes les personnes qui ont été impliquées dans ce travail. Mes pensées sont notamment tournées vers les étudiants, en particulier Clémence Mathy et Sarah Moustache, qui m'ont énormément aidé dans le décodage des si nombreuses données. Je remercie également les collègues de l'équipe NACA avec qui j'ai pu collaborer au cours de cette thèse. Merci Sylvain pour tes conseils et ton aide dans l'écriture des scripts. Merci Christine et Delphine pour l'apport de vos discussions. Merci Lise pour ton implication et tes

avis toujours pertinents. Merci également à toutes les personnes que j'ai cotoyées à l'Université de Lille durant cette thèse. Merci à Alma, Nia, Manon, Valentin pour les bons moments, les discussions partagées qui ont aussi permis d'améliorer cette thèse. Merci également Rémy, Médhi et Emy pour votre relecture et vos conseils.

Heureusement, la thèse n'est pas faite que de travail. Merci à Esti et Rémy pour votre compréhension et votre empathie. Comme vous savez ça autant que moi, la rigolade et la décompression sont essentielles pour finir une thèse. Merci pour ces moments de détente et ces escapades qui, je l'espère, seront de plus en plus fréquentes. Gracias igualmente por dejarme las puertas abiertas de vuestro despacho más de una vez.

Por suerte, la vida puede ser menos dura durante la tesis cuando estamos rodeados de alegría. Gracias Anna, Alexis, Andrea, Elena, Julian, Kike, Lucía, Marcos, Marina y Rocío por vuestra alegría, bromas, mensajes de ánimo y vuestra amistad. Gracias familia por darme energía para acabar este trabajo. De todos modos, ya sabéis que nos vemos pronto. Thank you Kike, Marcel and Jean-Philippe for the good times spent together and cheering me up along this PhD. By the way, our meetings have also greatly improved my level of English. Thanks for that. Merci Aline et Caroline pour votre soutien et pour être toujours présentes pour le meilleur et pour le pire. Merci également à Emy et Anto pour ces moments relaxants. A quand un peu de salsa dans nos vies ?

Je remercie également ma famille pour leur soutien tout au long de cette thèse. Mon environnement familial a beaucoup contribué à m'amener là où je suis. J'en suis convaincu. Je vous remercie profondément pour m'avoir conduit dans ce chemin.

Mes remerciements sont évidemment tournés vers Médhi. Contrairement à ce que tu pourrais penser, tu m'as poussé à me dépasser et à me remettre en question. Ton esprit critique m'a toujours inspiré et m'a conduit notamment à réaliser cette thèse. Si tu regardes tout ce que nous avons accompli, nous pouvons être fiers d'être arrivés là où nous sommes. Merci pour ton amitié et ton soutien indéfectible durant toutes ces années.

En fin, Marta, sin ti, nada de todo esto hubiera sido posible. Tu apoyo y tu ayuda proactiva en cualquier situación me dieron mucho para acabar este proyecto. Tus palabras me permitieron de seguir adelante viendo hacia donde voy. Gracias por todos los sacrificios y tu paciencia. Gracias por ser como eres y darme alegría cada día.

Table des matières

RESUME	5
ABSTRACT	7
REMERCIEMENTS	9
TABLE DES MATIERES	11
INTRODUCTION	15
PARTIE THEORIQUE	19
Chapitre 1 : Bénéfices des interventions musicales dans les maladies neurodégénératives	21
1.1. Impact de la musique sur l'émotion, le comportement et la cognition.....	21
1.2. Maladie d'Alzheimer : bases cérébrales et traitement musical	24
Chapitre 2 : Engagement induit par le rythme de la musique	27
2.1. Introduction et définitions.....	27
2.2. Caractéristiques temporelles de la musique	28
2.2.1. Rythme	28
2.2.2. Tempo.....	30
2.3. Mécanismes et traitement du rythme dans la synchronisation.....	30
2.3.1. Généralités	30
2.3.2. Perception du beat et de la métrique	31
2.3.2.1. Théorie des oscillations (Dynamic attending theory).....	32
2.3.3. Couplage audio-moteur	34
2.3.4. Mécanismes de réponses face aux variations du timing	35
2.3.4.1. Influence du tempo	35
2.3.4.2. Adaptation temporelle et mécanismes de correction	37
2.3.4.3. Prédiction temporelle et anticipation motrice.....	37
2.3.4.4. Lien entre performances de synchronisation et capacités cognitives	40
2.4. Réponse motrice modulée par le rythme de la musique comme forme d'engagement	43
2.4.1. Types de mouvements induits par la musique	43
2.4.2. Musique et métronome : synchronisation sensorimotrice	44
2.4.3. Musique et métronome : réponse motrice spontanée.....	47
2.5. Impact du vieillissement dans l'engagement induit par la musique.....	48

2.5.1. Vieillessement normal	48
2.5.1.1. Capacités de synchronisation	48
2.5.1.2. Réponse motrice rythmique induite par la musique	51
2.5.2. Vieillessement pathologique	52
2.5.2.1. Capacités de synchronisation : comparaison vieillissement normal et pathologique ...	52
2.5.2.2. Engagement de la réponse motrice induit par la musique	58
2.6. Is music special for people with dementia?	59
Chapitre 3 : Engagement social dans l'action conjointe rythmique	71
3.1. Introduction	71
3.2. Coordination interpersonnelle et action conjointe	72
3.2.1. Définition	72
3.2.2. Imitation comportementale et synchronisation interactionnelle	73
3.2.3. Processus de coordination interpersonnelle : couplage perception-action	74
3.2.3.1. Système des neurones miroirs	75
3.2.3.2. Prédiction de l'action des autres	75
3.2.3.3. Interaction sociale et enregistrement du partenaire	76
3.3. Action conjointe musicale	81
3.3.1. Effet de l'action conjointe rythmique sur les comportements de coopération et les affects positifs	82
3.3.1.1. Effets spécifiques de la musique	83
3.3.2. Influence bidirectionnelle ou unidirectionnelle des partenaires	85
3.4. Comportements non verbaux et interaction sociale dans la maladie d'Alzheimer	87
3.4.1. Fonctions des comportements non verbaux	87
3.4.2. Influence de la maladie d'Alzheimer sur les comportements non verbaux	89
3.4.2.1. Impact des troubles thymiques sur les comportements non verbaux	90
3.4.2.2. Impact des troubles cognitifs sur les comportements non verbaux	91
Objectifs de la thèse et questions de recherche	95
PARTIE EXPERIMENTALE	99
ETUDE 1	100
Chapitre 4 : Influence du contexte social sur la synchronisation au rythme musical dans la maladie d'Alzheimer	101
Analyse complémentaire : Influence de la Métrique et du Tempo sur la synchronisation au rythme de la musique en présence d'une chanteuse dans la maladie d'Alzheimer	127

Chapitre 5 : Influence de l'interaction sociale sur la production de comportements non verbaux en réponse à la musique dans la maladie d'Alzheimer	143
Analyse complémentaire : Influence de la Métrique sur les comportements non verbaux produits en réponse à la musique dans la maladie d'Alzheimer	165
ETUDE 2	174
Chapitre 6 : Influence de la présence d'un partenaire sur la synchronisation au rythme de la musique dans la maladie d'Alzheimer et dans le vieillissement physiologique	175
Chapitre 7 : Relation sociale et réponses à la musique dans la maladie d'Alzheimer et dans le vieillissement physiologique	207
Chapitre 8 : Comparaison de l'étude 1 et de l'étude 2	251
Chapitre 9 : Discussion générale et perspectives	269
9.1. Effet du contexte social sur les réponses à la musique	270
9.1.1. Attention divisée entre le chanteur et la musique.....	270
9.1.1.1. Perspectives.....	272
9.1.2. Adaptation bidirectionnelle et unidirectionnelle	272
9.1.2.1. Perspectives.....	273
9.1.3. Influence du média sur le comportement.....	276
9.1.3.1. Perspectives.....	277
9.2. Influence des caractéristiques de la musique sur le comportement.....	278
9.2.1. Musique et ses caractéristiques temporelles par comparaison au métronome	278
9.2.1.1. Perspectives.....	281
9.2.2. Familiarité des chansons.....	281
9.2.2.1. Perspectives.....	282
9.2.3. Eveil (arousal) et valence	282
9.2.3.1. Perspectives.....	283
9.3. Impact de la maladie d'Alzheimer sur les réponses à la musique	284
9.3.1. Complexité de la tâche	284
9.3.1.1. Perspectives.....	285
9.3.2. Troubles thymiques	285
9.3.2.1. Perspectives.....	286
9.3.3. Comportements moteurs spontanés.....	287
9.3.4. Evolution des comportements dans la maladie	287
9.3.5. Groupe contrôle.....	288

9.4. Conclusion et perspectives cliniques	289
Annexe 1 : Influence des performances de synchronisation sur les comportements non verbaux en réponse à la musique dans la maladie d'Alzheimer et dans le vieillissement physiologique.....	293
Références	303

Introduction

Le vieillissement de la population et l'allongement de l'espérance de vie contribuent à augmenter le risque de développer une maladie neurodégénérative telle que la maladie d'Alzheimer. Comme le rapporte Alzheimer's Disease International (ADI), 50 millions de personnes seraient atteintes par la maladie d'Alzheimer dans le monde et ce nombre pourrait tripler d'ici à 2050 (Prince, Wimo, Ali, Wu, & Prina, 2015). Suite à ces chiffres alarmants, les états membres de l'Organisation Mondiale de Santé (OMS) ont récemment mis en place un plan d'action mondial 2017-2025 afin de favoriser la recherche et l'innovation d'une part et de sensibiliser et informer la population d'autre part sur les différentes thérapies proposées et le soutien fourni aux aidants. Ce plan viserait à augmenter le bien-être non seulement des personnes qui sont atteintes par cette maladie mais aussi des aidants.

Parmi les thérapies proposées, il existe des traitements médicamenteux. Bien que ces traitements aient été développés afin de réduire les symptômes de la maladie d'Alzheimer, leurs effets restent encore limités (Birks, 2006 pour une revue). En conséquence, le National Institute for Health and Clinical Excellence (NICE, 2006) et la Haute Autorité de Santé (HAS, 2016) encouragent le développement d'interventions non-médicamenteuses, par exemple les interventions musicales, afin de réduire ces symptômes provoqués par la maladie d'Alzheimer et leur impact sur les aidants.

Parmi les symptômes de la maladie, des troubles thymiques et comportementaux tels que la dépression, l'anxiété, l'agitation, l'agressivité et l'apathie sont souvent associés à la maladie d'Alzheimer (Bunger, Jouvent, & Derouesné, 1996; Thomas et al., 2002; Starkstein, Jorge, Mizrahi, & Robinson, 2005; Mograbi & Morris, 2014). De plus, la sévérité de la maladie augmente la fréquence de ces troubles entraînant un impact sur la dépression et la détresse des aidants (van der Lee, Bakker, Duivenvoorden, & Dröes, 2017). Ces troubles associés à la maladie augmentent également le risque d'institutionnalisation (Toot, Swinson, Devine, Challis, & Orrell, 2017).

Les traitements non-médicamenteux proposent de stimuler l'activité des personnes atteintes de maladies neurodégénératives afin de réduire les troubles comportementaux et augmenter la qualité de vie tant des patients que de leur entourage. Dans cette optique, de nombreuses études ont vu le jour ces dernières années afin d'évaluer les effets des interventions musicales sur les symptômes des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer et de maladies apparentées (Pedersen, Andersen, Lugo, Andreassen, & Sütterlin, 2017; van der Steen et al., 2017 pour une

revue). Bien que ces activités musicales semblent bénéfiques pour ces personnes et pour leurs aidants, nous ne savons pas actuellement pourquoi elles sont efficaces, ni quels sont les facteurs qui favorisent ces effets bénéfiques. Ce projet de thèse a été réalisé afin de répondre à ces questions en se concentrant sur différents aspects de la réponse des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer (ou de maladies apparentées) à la musique lors d'une activité de synchronisation.

Dans cette thèse, nous posons l'hypothèse que la synchronisation au rythme de la musique, particulièrement quand elle est réalisée avec d'autres personnes, permet d'augmenter l'engagement moteur, rythmique, social et émotionnel des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer au cours des interventions musicales.

Grâce à une approche multidisciplinaire, une méthode a été mise en place permettant d'évaluer l'efficacité des interventions musicales au cours d'une activité de synchronisation sur le comportement moteur, les émotions, la cognition et la qualité de la relation sociale chez des personnes âgées atteintes de la maladie d'Alzheimer ou de maladies apparentées. Ce projet regroupe ainsi différentes disciplines : la neuropsychologie (équipe de Séverine Samson, Université de Lille), la psychologie sociale (Loris Schiaratura, Université de Lille), les sciences du mouvement et la musicologie (équipe IPEM, Université de Gand). Malgré les difficultés principalement administratives rencontrées dans ce projet, nous avons apporté par ce travail des outils qui ont pour objectif d'améliorer la prise en charge des personnes atteintes de pathologie neurodégénérative, préoccupation qui me touche particulièrement suite à mon expérience clinique dans les services de gériatrie en tant que psychologue spécialisé en neuropsychologie.

Dans cette thèse, nous commençons la partie théorique en rapportant les effets des interventions musicales sur l'émotion, le comportement et la cognition chez les personnes âgées atteintes de maladies neurodégénératives (chapitre 1). Après avoir brièvement décrit les bases cérébrales de la maladie d'Alzheimer, nous décrivons les mécanismes sous-jacents de la synchronisation sensorimotrice au rythme de la musique notamment dans la maladie d'Alzheimer et maladies apparentées ainsi que dans le vieillissement physiologique 'normal' (chapitre 2). A la fin de ce chapitre, nous introduisons une revue (prochainement publiée) dans laquelle nous avons décrit les différents aspects (moteur, cognitif, émotionnel et social) de la réponse au rythme de la musique. Dans le chapitre 3, nous abordons le processus de coordination interpersonnelle des mouvements entre les individus ainsi que l'influence de l'action conjointe sur la synchronisation au rythme de la musique. Ensuite, nous présentons comment la maladie d'Alzheimer influence l'interaction sociale et la production de comportements non verbaux.

Après avoir précisé les objectifs de cette thèse, nous introduisons l'étude 1 dans laquelle nous avons examiné l'influence du contexte social, de la musique (et de ses caractéristiques temporelles) sur la synchronisation du tapping (chapitre 4) et sur la production de comportements non verbaux (chapitre 5) chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer ou de maladies apparentées. Ensuite, nous présentons l'étude 2 dans laquelle nous avons comparé les performances de synchronisation (chapitre 6) et la production des comportements non verbaux (chapitre 7) entre des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer et des participants contrôles. Cette comparaison était réalisée au cours d'une activité de synchronisation réalisée avec un musicien. Dans le chapitre 7, nous observons le lien qu'il pourrait exister entre les différents aspects de la réponse à la musique au cours de cette activité. Dans le chapitre 8, nous comparons les résultats obtenus des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer entre les deux études afin d'observer un impact de la sévérité de la maladie sur la réponse à la musique permettant également de mettre en évidence quelques considérations méthodologiques. Enfin, le dernier chapitre est consacré à la discussion générale des résultats principaux de cette thèse.

Partie théorique

Chapitre 1 : Bénéfices des interventions musicales dans les maladies neurodégénératives

Un nombre croissant de structures de soin propose des interventions musicales pour apaiser et améliorer le bien-être des personnes atteintes de maladies neurodégénératives. Tout en procurant du plaisir aux patients (Zentner, Grandjean & Scherer, 2008), même dans les stades avancés de la maladie (Cuddy, Sikka, Vanstone, 2015), ces activités semblent avoir des retombées positives sur le comportement de ces personnes mais aussi sur la souffrance des aidants. Toutefois, les mécanismes qui sous-tendent ces effets ne sont pas encore élucidés. Dans ce chapitre, nous allons décrire le bénéfice des activités musicales sur l'état émotionnel, comportemental et cognitif des personnes présentant une maladie neurodégénérative.

1.1. Impact de la musique sur l'émotion, le comportement et la cognition

Parmi les multiples études publiées, nombreuses sont celles qui ont rapporté des effets positifs de la musique sur l'humeur et une diminution des signes de dépression des personnes atteintes de maladies neurodégénératives (Raglio et al., 2008, 2010; Guétin et al., 2009; Cooke, Moyle, Shum, Harrison, & Murfield, 2010; Sung, Lee, Li, & Watson, 2012; Vink et al., 2013, 2014; Chu et al., 2014; Narme et al., 2014; Särkämö et al., 2014, 2016; Hsu, Flowerdew, Parker, Fachner, & Odell-Miller, 2015). Selon certains auteurs, cette diminution des signes dépressifs serait limitée dans le temps (Särkämö et al., 2014). Pour d'autres, elle persisterait même après l'arrêt des interventions (Guétin et al., 2009). La diminution des signes dépressifs serait également plus prononcée au stade débutant qu'au stade modéré de la maladie, et chez les personnes avec une maladie d'Alzheimer plutôt qu'un autre type de maladie neurodégénérative (vasculaire, mixte, démence à corps de Lewy et/ou de Parkinson) (Särkämö et al., 2016).

L'impact de la musique a également été observé sur le niveau d'anxiété. Comme pour la dépression, certaines études suggèrent que les bénéfices de la musique sur l'anxiété disparaissent rapidement après l'arrêt des interventions (Narme et al., 2014) alors que d'autres démontrent des effets qui peuvent persister plusieurs semaines (Guétin et al., 2009 ; Raglio et al., 2010 ; Sung et al., 2012) chez des personnes atteintes de maladies neurodégénératives (de type Alzheimer ou mixte) à un stade modéré à sévère. Par conséquent, bien que l'impact de la musique sur la dépression et sur l'anxiété est rapporté dans la littérature, des divergences

persistent quant à la durée de ces effets.

Les troubles du langage fréquemment associés à la maladie d'Alzheimer pourraient néanmoins entraîner un biais dans les résultats obtenus sur l'humeur de ces personnes. En effet, la majorité des études rapportées ont utilisé des questionnaires pour évaluer la dépression et l'anxiété. Or, les troubles cognitifs et du langage rendent leur interprétation délicate. C'est pourquoi certains auteurs évaluent l'humeur à partir de l'enregistrement vidéo d'entretiens (i.e. Schiaratura, 2013). Cette méthode nécessite de décoder (en aveugle) les mimiques faciales correspondant aux émotions positives (joie) ou négatives (tristesse, colère, dégoût, peur) exprimées par les patients, en utilisant des critères stricts tels que ceux publiés par Ekman (1978) ou encore le contenu émotionnel des échanges verbaux en comparant la proportion de mots à valence positive et négative. A partir de cette méthode, Narme et al. (2014) ont mis en évidence une augmentation de la production des expressions faciales à valence émotionnelle positive après des interventions musicales (et non-musicales) par comparaison à la ligne de base chez des personnes présentant une maladie d'Alzheimer ou une démence mixte (maladie d'Alzheimer avec étiologie vasculaire) à des stades modérés à sévères. Selon Sakamoto, Ando, et Tsutou (2013), les interventions musicales basées sur le chant et le mouvement (sessions « actives ») induiraient plus d'expressions faciales positives que les interventions basées uniquement sur l'écoute de la musique (sessions « réceptives »). Ces résultats sont encourageants et soulignent l'intérêt d'utiliser le décodage des comportements non verbaux en complément des réponses à des questionnaires pour évaluer l'état émotionnel et l'engagement des personnes atteintes de maladies neurodégénératives.

Les interventions musicales chez les personnes atteintes de maladies neurodégénératives démontrent également un impact positif sur le comportement des patients. En utilisant à nouveau des questionnaires, plusieurs études ont décrit une diminution de l'agitation et de l'irritabilité après des interventions musicales (Raglio et al., 2008, 2010; Lin et al., 2011; Sakamoto et al., 2013; Vink et al., 2013, 2014; Narme et al., 2014; Hsu et al., 2015; Sánchez et al., 2016; Pedersen et al., 2017). Ces difficultés comportementales, fréquentes aux stades avancés de la maladie, sont souvent à l'origine de la détresse des aidants et la principale cause d'institutionnalisation (Schulz & Williamson, 1991). Comme le suggèrent certains auteurs, la tension des aidants, exacerbée par les troubles comportementaux des patients, se répercuterait en retour sur le patient lui-même, accentuant d'autant plus l'ampleur de ses difficultés. En diminuant l'agitation et l'irritabilité des patients, les interventions musicales bénéficieraient

également aux aidants (Cerejeira, Lagarto, & Mukaetova-Ladinska, 2012).

Certaines études ont également démontré l'impact de la musique sur la cognition des patients et notamment sur les mesures d'efficacité cognitive globale (MMSE¹, Folstein, Folstein, & McHugh, 1975), de mémoire de travail (MMSE/Memory items et WMS III/Digit span, Wechsler, 1997), des fonctions exécutives et d'attention (MMSE/Calculation et Frontal Assessment Battery FAB, Dubois, Slachevsky, Litvan, & Pillon, 2000) (Ceccato et al., 2012; Särkämö et al., 2014, 2016). Il apparaît que dans ce domaine, la nature de l'activité musicale, à savoir si elle implique la participation active (i.e. chant) ou non (i.e. écoute musicale) des patients, pourrait moduler les performances aux tests cognitifs. Ainsi, la pratique du chant, par comparaison à l'écoute musicale, améliorerait la mémoire autobiographique évaluée par un test de fluence autobiographique (énumérer le plus grand nombre de personnes familières) (Särkämö et al., 2014). Il en est de même pour la mémoire de travail (MMSE/Memory items et WMS III/Digit span, Wechsler, 1997), dont les effets sont plus marqués au stade débutant plutôt qu'au stade modéré de la maladie (Särkämö et al., 2016). L'écoute musicale (activité réceptive) semble, quant à elle, améliorer l'efficacité cognitive globale (score total du MMSE), et plus particulièrement les capacités d'orientation spatio-temporelle (sous-tests du MMSE), au stade modéré plutôt qu'au stade débutant. Bien qu'il semble que les interventions musicales, qu'elles soient actives ou non, limitent le déclin cognitif des personnes atteintes d'une maladie neurodégénérative (Särkämö et al., 2016), d'autres auteurs n'ont pas réussi à mettre en évidence de tels effets (Narme et al., 2014).

En plus des effets décrits sur les patients, quelques études récentes ont démontré que les interventions musicales diminuent également la souffrance des aidants (Narme et al., 2014 ; Särkämö et al., 2014, 2016), évaluée par les questionnaires (Neuropsychiatric Inventory-NPI, Sisco et al., 2000 ou Zarit Burden Interview ZBI, Bédard et al., 2001). Les retombées sur la charge émotionnelle des aidants seraient encore plus marquées lorsque l'aidant participe aux activités musicales avec le patient (Särkämö et al., 2014). En renforçant les interactions sociales entre le patient et l'aidant durant ces interventions, les bénéfices de ces interventions musicales sur la détresse des aidants seraient encore plus importants.

¹ Mini-Mental State Examination

Les résultats de ces différentes études démontrent que les interventions musicales ont des effets positifs sur l'état émotionnel, comportemental et cognitif des personnes atteintes de maladies neurodégénératives et qu'elles entraînent une diminution de la souffrance des aidants. Comme souligné dans une méta-analyse récente (van der Steen et al., 2017), il faut toutefois rester prudent quant à l'interprétation de ces résultats dont la validité scientifique est souvent remise en question. En effet, la taille des effets reste modeste et l'efficacité de ces prises en charge varie considérablement d'une personne à l'autre sans que l'on sache pourquoi. De plus, l'ampleur des effets est souvent exacerbée par les nombreux biais méthodologiques (Samson, Clément, Narme, Schiaratura, & Ehrlé, 2015).

1.2. Maladie d'Alzheimer : bases cérébrales et traitement musical

Parmi les maladies neurodégénératives, notre intérêt dans cette thèse se porte sur la maladie d'Alzheimer. La recherche des causes de la maladie d'Alzheimer a permis d'identifier à l'aide de marqueurs biologiques plusieurs dysfonctionnements cérébraux associés à la maladie. L'une des hypothèses repose sur la recherche de plaques amyloïdes et de dégénérescence neurofibrillaire (Hardy & Higgins, 1992; Selkoe & Hardy, 2016). Selon cette hypothèse, il y aurait une perturbation entre la production et l'évacuation de protéines amyloïdes qui conduirait à la formation de plaques amyloïdes autour des neurones. Ces plaques amyloïdes se génèrent suite à l'accumulation de peptides amyloïdes A β . La dégénérescence neurofibrillaire correspondrait quant à elle à une accumulation intra-cellulaire de protéines tau hyper-phosphorylées entraînant un dysfonctionnement neuronal et une atrophie corticale progressive (Benzinger et al., 2013). Ce dysfonctionnement causé par l'accumulation de protéines tau et de plaques amyloïdes aurait une influence sur le déclin cognitif (Benzinger et al., 2013).

D'après une méta-analyse sur les altérations neuro-anatomiques de la maladie d'Alzheimer (Serrano-Pozo, Frosch, Masliah, & Hyman, 2011), il semblerait que la dégénérescence neurofibrillaire et le dépôt de plaques amyloïdes débuteraient au niveau du cortex entorhinal, avant de s'étendre à l'hippocampe et aux aires associées (Frisoni, Fox, Jack Jr, Scheltens, & Thompson, 2010). Dans des stades plus avancés, les ganglions de la base, le thalamus et le cervelet pourraient être atteints mais dans une moindre mesure. En dernier lieu, les aires sensorimotrices et occipitales seraient altérées. Par conséquent, il semble que la maladie altère principalement les régions temporales et pariétales, les aires du précuneus et d'autres régions

néocorticales. Cependant, les cortex sensorimoteur, occipital et cingulaire antérieur seraient largement préservés dans les premiers stades de la maladie (Frisoni et al., 2010; Villain et al., 2012; Lehmann et al., 2013). Aux effets de la maladie s'ajoutent ceux de l'âge qui concernent en particulier les régions fronto-pariétales (Bakkour, Morris, Wolk, & Dickerson, 2013 pour une revue). Cependant, certaines régions cérébrales comme les structures du lobe temporal médian seraient atteintes spécifiquement par la maladie d'Alzheimer (Bakkour et al., 2013 pour une revue).

L'impact des interventions musicales sur le comportement et les émotions des personnes atteintes notamment de la maladie d'Alzheimer (voir section précédente) suggèrent que les traitements de l'information musicale seraient encore possibles. Ils impliqueraient des aires cérébrales et des fonctions relativement préservées ou seulement partiellement atteintes par la maladie. Ainsi, le traitement des émotions musicales, sous la dépendance d'un large réseau cérébral impliquant notamment le circuit cortico-striatal de la récompense et le système dopaminergique (Salimpoor et al., 2013; Salimpoor, Zald, Zatorre, Dagher, & McIntosh, 2015; Mas-Herrero, Dagher, & Zatorre, 2018; Ferreri et al., 2019) serait, du moins en partie, épargné dans cette pathologie. Même si l'altération du circuit dopaminergique a été décrit dans la maladie d'Alzheimer (Gibb, Mountjoy, Mann, & Lees, 1989), de nombreuses observations cliniques suggèrent que les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer continuent de montrer du plaisir lors des interventions musicales (Sakamoto et al., 2013; Narme et al., 2014). Il se pourrait donc que le plaisir suscité par l'écoute ou les activités musicales s'explique par le fonctionnement du circuit cortico-striatal préservé jusqu'à des stades avancés de la maladie.

L'intégrité d'autres régions cérébrales pourrait expliquer également d'autres effets rapportés dans la littérature. Très récemment, King et al. (2019) ont montré que lorsque les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer écoutaient leurs chansons favorites, elles activaient spécifiquement l'aire motrice supplémentaire par comparaison à l'écoute de ces mêmes chansons à l'envers. Or, il apparaît que cette région corticale est relativement préservée jusqu'aux stades sévères de la maladie (Frisoni et al., 2010; Jacobsen et al. 2015).

Plus inattendues sont les capacités d'apprentissage musical, qui contrairement aux apprentissages verbaux, sont souvent préservées dans la maladie d'Alzheimer même à des stades avancés (Baird & Samson, 2009; Samson, Dellacherie, & Platel, 2009; El Haj, Fasotti, & Allain, 2012; Cuddy, Sikka, & Vanstone, 2015). Selon Jacobsen et ses collaborateurs (2015), ces aptitudes seraient associées au fonctionnement du gyrus cingulaire antérieur et de l'aire motrice supplémentaire, régions relativement épargnées dans ce processus pathologique

(Frisoni et al., 2010; Villain et al., 2012; Lehmann et al., 2013). En effet, dans une étude de neuroimagerie fonctionnelle, ces auteurs ont montré que ces régions cérébrales jouaient un rôle important dans le processus de mémoire à long-terme musicale, expliquant ainsi pourquoi certains apprentissages musicaux pouvaient être préservés dans la maladie d'Alzheimer.

Comme nous venons de le rappeler, le cortex prémoteur et l'aire motrice supplémentaire ainsi que les ganglions de la base et le cervelet, également impliqués dans la perception du rythme musical (Chen, Zatorre, & Penhune, 2006; Grahn & Brett, 2007; Zatorre, Chen, & Penhune, 2007; Chen, Penhune, & Zatorre, 2008; Phillips-Silver & Trainor, 2008; Grahn, 2009; Grahn & Rowe, 2009) sont en partie préservés dans la maladie d'Alzheimer. Par conséquent, il n'est pas surprenant que les personnes atteintes par ce processus dégénératif continuent à bouger au rythme de la musique. En incitant les patients à synchroniser leurs mouvements au rythme de la musique, les interventions basées sur la musique et notamment les interventions dites actives menées en groupe procureraient du plaisir aux patients tout en stimulant les interactions sociales. De tels effets pourraient être à l'origine des bénéfices thérapeutiques de la musique comme nous tenterons de le démontrer dans cette thèse.

On peut penser que la synchronisation au rythme de la musique au cours des interventions actives pourrait augmenter l'engagement rythmique et social des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer et maladies apparentées. Cela implique d'étudier les processus liés au couplage des mouvements au rythme de la musique en action conjointe dans le cadre du vieillissement normal et pathologique au niveau des émotions, des comportements moteurs, de la cognition ainsi que des interactions sociales.

Chapitre 2 : Engagement induit par le rythme de la musique

2.1. Introduction et définitions

L'influence du rythme de la musique sur le comportement peut agir à différents niveaux. En effet, l'écoute du rythme de la musique entraîne un couplage temporel des réponses provenant de l'activité oscillatoire de réseaux de neurones, du système moteur mais aussi du système autonome par exemple. Le rythme de la musique semble donc moduler le fonctionnement de notre organisme. Une discussion approfondie de cette question appliquée dans le contexte de la démence est reprise dans la section 2.6. Is music special for people with dementia ?

Parmi les réponses au rythme de la musique, des comportements sensorimoteurs se dégagent tels que la « synchronisation sensorimotrice » (*sensorimotor synchronization*, SMS) ou *rhythmic entrainment* qui recevront une attention particulière dans ce travail de thèse. Le concept d'« *entrainment* » correspond au couplage temporel qui s'établit entre deux ou plusieurs processus rythmiques ou oscillatoires. Ce phénomène d'*entrainment* se manifeste sous de nombreuses formes. Par exemple, lorsque des individus interagissent entre eux, ceux-ci produisent des mouvements qui forment un rythme. Sur base des caractéristiques spatio-temporelles de ces mouvements, les individus peuvent être amenés à synchroniser le rythme de leurs mouvements de manière automatique ou intentionnelle. Cette synchronisation ou *entrainment* au rythme du mouvement s'observe non seulement dans la communication verbale et non verbale mais aussi dans la plupart des activités sociales telles que le sport, la danse ou la musique (McNeill, 1995). La synchronisation pourrait d'ailleurs être considérée comme une forme d'engagement d'un système au rythme perçu. Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons à l'*entrainment* rythmique dans les interactions sociales et plus particulièrement à l'*entrainment* rythmique de séquences auditives dans des actions conjointes.

Dans le domaine de la musique, le phénomène de synchronisation (ou *rhythmic entrainment*) a été largement étudié en demandant aux participants de synchroniser leurs mouvements au rythme de la musique. Cette synchronisation sensorimotrice est aussi fréquemment observée lors des interventions musicales dites actives réalisées auprès des personnes atteintes de maladies neurodégénératives (Sherratt, Thornton, & Hatton, 2004; Holmes, Knights, Dean, Hodkinson, & Hopkins, 2006; Raglio et al., 2008; Raglio et al., 2010; Sung et al., 2011;

Särkämö et al., 2014; Hsu et al., 2015; Lesaffre, Moens, & Desmet 2017). Dans ces interventions actives, les individus interagissent entre eux au rythme de la musique. Ce type d'intervention se distingue des activités réceptives qui correspondent à une écoute passive de la musique qui peut être jugée comme moins efficace d'un point de vue thérapeutique (Sakamoto et al., 2013).

Dans ce chapitre, nous discuterons tout d'abord les caractéristiques temporelles du rythme musical, avant de présenter ses effets sur la synchronisation des mouvements et sur les comportements non verbaux impliquant notamment l'expression corporelle et émotionnelle. Enfin, nous aborderons ces concepts sous l'angle du vieillissement 'normal' et pathologique.

2.2. Caractéristiques temporelles de la musique

2.2.1. Rythme

Le rythme de la musique repose sur une organisation hiérarchique d'événements auditifs (cf. Figure 1). Elle est définie par des caractéristiques temporelles interdépendantes : le *beat* (ou pulsation musicale), la métrique et la durée des intervalles entre chaque événement. Le *beat* dans le rythme de la musique est un événement auditif répétitif et régulier. Par définition, il se produit à des intervalles de temps équidistants (isochrone) comme un métronome (Cooper & Meyer, 1960). Ce *beat* s'inscrit dans une séquence rythmique (qui contient des structures isochrones ou non). Il peut être physiquement présent ou pas. En effet, les *beats* peuvent coïncider avec les notes de musique mais ce n'est pas toujours le cas (ex : silence dans la musique). Les *beats* sont englobés à travers une structure hiérarchique appelée métrique. Elle organise les *beats* en plusieurs niveaux hiérarchiques : la mesure (haut niveau de la hiérarchie) inclut des *beats* primaires (aussi appelés *tactus*) associés à un bas niveau de la hiérarchie. Dans la musique de culture occidentale, la perception de la métrique se réfère aux *beats* considérés comme forts et faibles sur base de la structure hiérarchique du rythme (McAuley, 2010). La mesure (*time signature*) organise les *beats* primaires correspondant en général aux noires (*quarter note*) en divisant la mesure soit de manière binaire (ratio 2:1), associée à une métrique comme la marche (structure à deux *beats* dont l'un est fort et l'autre faible), soit de manière ternaire (ratio 3:1), associée à la métrique de la valse (structure à trois *beats* dont le premier est fort et les deux autres faibles). Ces subdivisions sont dites « simples » par opposition aux subdivisions composées telles que les mesures 6/8 ou 9/8 par exemple. Enfin, le *beat* et la

métrique dépendent de la durée qui sépare les événements de cette structure rythmique (Palmer & Krumhansl, 1990; London, 2002).



Figure 1. Illustration du rythme musical, du beat et de la métrique (ici ternaire). Le rythme est une séquence d'événements auditifs séparés par des intervalles de temps. Dans cette séquence, le beat correspond à l'unité de base qui se produit de manière régulière et répétitive. La métrique est l'organisation temporelle hiérarchique des beats forts et faibles (dans la figure, les beats forts correspondent à la première ligne). Adaptée de Cameron & Grahn (2014).

En d'autres termes, le rythme correspond au regroupement des différents éléments structurés par l'accentuation marquée du beat (fort ou faible) qui induit la métrique (Cooper & Meyer, 1960). Ce regroupement entre les éléments auditifs contribuerait également à la formation des attentes métriques (Brochard, Abecasis, Potter, Ragot, & Drake, 2003). A noter que ce type de regroupement se réaliserait même lorsque les événements auditifs sont identiques ou isochrones (Bolton, 1894; Woodrow, 1909; Fraise, 1982).

La régularité et la répétition de l'accentuation subjective des beats (forts et faibles) permettraient à l'auditeur de percevoir la structure métrique du rythme de la musique (Cooper & Meyer, 1960; Lerdahl & Jackendoff, 1983). C'est cette régularité de l'accentuation des beats qui agencerait les éléments de cette structure rythmique entre eux. Selon la théorie métrique de Lerdahl & Jackendoff (1983), le beat est un construit perceptif qui n'a pas toujours de réalité physique. En effet, la perception du beat et de la métrique est basée sur une interprétation qui est influencée par des stimuli externes mais aussi par des éléments endogènes (Iversen, Repp, & Patel, 2009). Par conséquent, l'auditeur percevrait les beats à partir d'une séquence rythmique complexe dont la périodicité et la régularité seraient extraites sur base des caractéristiques physiques et temporelles des événements acoustiques mais aussi en se référant à la perception subjective qu'il aurait de ces caractéristiques (Lerdahl & Jackendoff, 1983; Palmer & Krumhansl, 1990; London, 2012).

2.2.2. Tempo

Le tempo correspond à l'intervalle de temps perçu entre les événements auditifs (IOI pour *Inter-Onset Interval*). Il peut être exprimé en beat par minute (bpm) ou par l'intervalle de temps entre les événements successifs (en millisecondes) qui est associé au concept de période. Plus le beat est situé à un bas niveau dans la hiérarchie de la métrique, plus l'intervalle de temps sera court (McAuley, 2010). Cet intervalle est susceptible d'être modulé par la perception des beats et par certains mécanismes d'adaptation temporelle liés à la synchronisation comme expliqué plus loin (cf. 2.3.4. Mécanismes de réponses face aux variations du timing).

2.3. Mécanismes et traitement du rythme dans la synchronisation

2.3.1. Généralités

Le traitement du beat et de la synchronisation sensorimotrice a été étudié le plus souvent à travers une tâche de *tapping* qui consiste à taper avec l'index de la main dominante en réponse à l'apparition de stimuli sonores ou visuels (pour une revue, voir Repp, 2005; Repp & Su, 2013). De nombreuses études ont mis en évidence que les participants ont tendance à taper en avance par rapport à l'occurrence du stimulus lors de l'écoute du métronome (Aschersleben, 2002 pour une revue). Ce phénomène est appelé asynchronie moyenne négative (*negative mean asynchrony* ou NMA). Ce terme d'« asynchronie » se réfère à l'écart qui existe entre l'occurrence du stimulus et la réponse motrice, soit le degré d'erreur commis lors de la synchronisation au beat. Il s'agit de la précision de la synchronisation. Plus l'asynchronie est élevée, plus grand est l'écart entre la tape et le stimulus (Repp, 2005). Cependant, la cause de ce phénomène de NMA n'est pas encore totalement comprise (Fraisse, 1982; Aschersleben, 2002; Repp, 2005; Repp & Su, 2013). Selon l'une des explications avancée par Wohlschläger et Koch (2000), la NMA résulterait de la sous-estimation de la durée des intervalles de temps vides. L'asynchronie diminuerait toutefois lorsque les intervalles entre les tapes (ITI) sont subdivisés par des mouvements (Pressing, 1998) et/ou par des informations auditives notamment grâce à un feedback (Aschersleben, 2002; Repp, 2003). En subdivisant l'intervalle de temps entre les stimuli, l'intervalle est plus court et de ce fait l'asynchronie et la variabilité diminuent (Flach, 2005; Madison, 2014). D'autres résultats nuancent les effets de cette subdivision. Par exemple, il a été rapporté que l'écoute de sons additionnels entre les beats augmentait l'asynchronie chez des pianistes jouant des mélodies isochrones (Loehr & Palmer,

2009). Selon ces auteurs, le timing de la subdivision des intervalles aurait son importance lors de la synchronisation aux beats. L'étude de l'influence du feedback auditif (sans production entre les beats) démontre cependant que sa présence permet de réduire l'asynchronie (Aschersleben, 2002). De même, la production de mouvements aide à la perception du beat en plus du feedback auditif (Manning & Schutz, 2013; Manning & Schutz, 2015). Ces résultats suggèrent que l'apport d'informations pertinentes quant à l'apparition du beat pourrait améliorer la perception et la synchronisation au beat.

Une autre explication complémentaire au phénomène de NMA exposée par Aschersleben (2002) est également liée au feedback sensoriel lors de la synchronisation du tapping. Selon cette hypothèse, la synchronisation du tapping à un signal auditif repose sur un système central au niveau duquel les représentations du signal auditif coïncident temporellement avec celles de la tape. Les représentations de la tape dans ce système reposent sur le feedback somatosensoriel du mouvement produit. Or, l'asynchronie négative ou l'anticipation de la tape par rapport au beat est due au fait que l'information du feedback somatosensoriel a besoin de plus de temps pour atteindre le système central que l'information du feedback auditif. Pour que les représentations du feedback auditif et de la tape coïncident au niveau du système central, il est par conséquent nécessaire que la tape précède le signal auditif pour produire une synchronisation. Cependant, cette anticipation entraîne une asynchronie négative.

Ces différentes hypothèses mettent en évidence qu'un couplage entre la perception et l'action se produit au cours du processus de synchronisation. Une revue des effets de l'action sur la perception du rythme de la musique montre que la production de mouvements peut moduler la perception d'un son de la même manière qu'un son peut influencer le mouvement (Maes, Leman, Palmer, & Wanderley, 2014). Selon cette revue, l'attention portée sur le rythme auditif peut être modulée par l'exécution de mouvements en prédiction à l'occurrence d'événement auditif. Les auteurs suggèrent donc que l'attention et le contrôle moteur pourraient avoir une influence sur la performance de synchronisation. Ainsi, un défaut d'attention ou du contrôle moteur pourrait avoir un impact sur l'anticipation ou asynchronie négative comme illustré par les résultats obtenus auprès de populations présentant un dysfonctionnement moteur comme dans la maladie de Parkinson (Jones et al., 2011; Bienkiewicz & Craig, 2015).

2.3.2. Perception du beat et de la métrique

La capacité à se synchroniser au rythme de la musique implique de percevoir le beat. La régularité de l'occurrence des beats accentués permet à l'auditeur de percevoir la structure

métrique. Cependant, comme nous l'avons vu ci-dessus, le beat est un percept endogène qui repose sur l'interprétation de l'auditeur. Cette perception du beat peut donc différer entre les individus. D'ailleurs, plusieurs études ont rapporté les cas de personnes présentant des difficultés à se synchroniser au rythme de la musique à cause notamment de faibles capacités de perception du beat (Phillips-Silver et al., 2011; Sowiński & Dalla Bella, 2013; Palmer, Lidji, & Peretz, 2014; Tranchant, Vuvan, & Peretz, 2016; Bégel et al., 2017).

Afin de percevoir le beat dans le rythme de la musique, il est souvent nécessaire de pouvoir percevoir la métrique. La métrique fournit des informations sur les attentes temporelles permettant de savoir quand l'événement auditif va se produire. D'après la théorie métrique de Lerdahl et Jackendoff (1983), différents types d'accentuation permettraient à l'auditeur de structurer le rythme via la métrique. Notamment, l'accentuation « phénoménale » correspond à une accentuation reposant sur des propriétés acoustiques, comme un changement d'intensité ou de durée, qui rendent les événements plus saillants et plus facilement identifiables. L'accentuation « structurelle » est plus régulièrement distribuée que l'accentuation phénoménale mais n'est pas liée à des corrélats sensoriels (ex : la cadence). Enfin, les accents « métriques » proviennent d'une représentation mentale des périodes. Pour percevoir la métrique, l'auditeur devrait donc inférer les accents métriques sur base de l'accentuation phénoménale et structurelle (Palmer & Krumhansl, 1990). Ces accents temporels et mélodiques joueraient donc un rôle dans les mécanismes de perception de la métrique et donc du beat dans le rythme de la musique (Povel & Essens, 1985; Ellis & Jones, 2009).

2.3.2.1. *Théorie des oscillations (Dynamic attending theory)*

Plusieurs théories ont abordé la question de la perception de la métrique et notamment de l'importance de l'alignement temporel entre les accents. L'une des plus influentes est la '*dynamic attending theory*', DAT (Jones, 1976; Jones & Boltz, 1989; Large & Jones, 1999; London, 2002). Cette théorie avance que la métrique serait une structure stable d'événements qui génère des attentes temporelles coordonnées avec l'apparition de ceux-ci. Cette approche propose que les structures temporelles du rythme dans la musique induisent des mouvements oscillatoires endogènes qui se synchronisent aux stimuli auditifs externes. Ce modèle consiste en deux entités : les oscillations internes (*attending rhythms*) qui génèrent des attentes temporelles et permettraient d'anticiper les événements auditifs, et les événements rythmiques externes qui influencent et entraînent les oscillations internes à ce rythme (Large & Jones,

1999). Selon cette approche, l'attente temporelle induirait une augmentation de l'attention lors du moment précédant l'apparition du stimulus. Cette attention modulerait périodiquement les oscillations internes. Ainsi, les pics attentionnels (moment où l'attention est maximale) s'aligneraient sur les beats du rythme externe (Large & Jones, 1999; London, 2012). Il existerait deux types d'alignement des oscillations selon cette théorie : la synchronisation de « phase » et de « période ». La synchronisation de phase se produit lorsque les marqueurs des deux oscillations ont lieu en même temps alors que la synchronisation de période correspond à la mise en place d'intervalles de temps de même durée dans les deux rythmes sans que les marqueurs coïncident (e.g. Clayton, Sager, & Will, 2005).

Plusieurs études démontrent que la perception d'une structure métrique entraîne un couplage temporel (ou synchronisation) de l'activité oscillatoire du réseau neuronal avec ce rythme externe (Large & Jones, 1999; van Noorden & Moelants, 1999; Snyder & Large, 2005; Ellis & Jones, 2009; Nozaradan, Peretz, Missal, & Mouraux, 2011; Nozaradan, Zerouali, Peretz, & Mouraux, 2013). Ces études suggèrent que l'accentuation des beats et/ou les attentes métriques influenceraient ce couplage. Cependant, le couplage neuronal se produirait même sans accentuation ou sans métrique physiquement présente. Ainsi, Nozaradan et al. (2011) ont montré que, lors de l'écoute de séquences de sons isochrones, le signal de l'électro-encéphalogramme (EEG) était différent si le participant imaginait une métrique binaire (12 12) ou ternaire (123 123 123). Dans une étude de magnéto-encéphalographie (MEG), l'analyse de l'activité oscillatoire des bandes de fréquence beta (15-30 Hz) et gamma (> 30 Hz) enregistrée dans le cortex auditif a mis en évidence des résultats originaux. Lorsque les participants écoutaient une séquence de pulsations musicales régulières avec quelques omissions tout en regardant un film, l'activité beta se synchronisait avec le stimulus auditif. Cependant, lors de l'omission d'un événement auditif, l'activité beta diminuait alors que l'activité gamma augmentait comme si le son avait été présent (Fujioka, Trainor, Large, & Ross, 2009) mettant en évidence une réponse cérébrale associée à la métrique même lorsqu'elle n'était pas physiquement présente. De même, dans une autre étude, les participants devaient imaginer le beat sur le premier ou le second son. Les pics d'amplitude de l'activité beta était plus élevée quand le participant entendait le son correspondant au beat qu'il imaginait plutôt que l'autre son (Iversen et al., 2009). Ces données démontrent que l'activité oscillatoire de la bande de fréquence beta pourrait jouer un rôle dans le couplage entre le traitement des stimuli auditifs externes et des processus internes tels que la perception de la métrique. Il a également été rapporté auparavant que l'activité de la bande de fréquence beta serait impliquée dans le

système moteur (Schnitzler, Salenius, Salmelin, Jousmäki, & Hari, 1997). De plus, il était suggéré que cette activité beta serait liée aux connexions entre les réseaux moteur et sensorimoteur durant la production de mouvements (et de ce fait, dans le tapping) et l'imagerie motrice (Mayville et al., 2001). Par conséquent, il semble que l'activité beta joue un rôle dans le couplage audio-moteur. L'activité gamma quant à elle serait plus impliquée dans les mécanismes internes d'attentes et d'anticipation du beat (Snyder & Large, 2005; Fujioka et al., 2009). Ces dernières études suggèrent à nouveau qu'il existe un lien entre la perception d'événements auditifs et les mécanismes sous-jacents au système moteur.

2.3.3. Couplage audio-moteur

L'interaction entre les systèmes auditif et moteur serait au centre des mécanismes de perception et de synchronisation au beat. Par exemple, il a été remarqué que l'écoute de la répétition d'événements auditifs entraîne le corps à bouger spontanément (Fraisse, 1982; Drake, Penel, & Bigand, 2000; Janata, Tomic, & Haberman, 2012) sous forme de tapping, de battements dans les mains ou même par des balancements du corps (Repp, 2005; Demos, Chaffin, Begosh, Daniels, & Marsh, 2012; Tranchant et al., 2016). Le couplage audio-moteur aurait donc lieu dès la détection de la régularité de la stimulation auditive.

Selon de nombreux travaux de neuroimagerie fonctionnelle, la perception du beat, sans même produire de mouvement, active les aires cérébrales motrices telles que le cortex prémoteur et l'aire motrice supplémentaire mais active aussi des aires sous-corticales du système vestibulaire comme les ganglions de la base et le cervelet (Sakai et al., 1999; Chen, et al., 2006; Grahn & Brett, 2007; Zatorre, Chen, & Penhune, 2007; Chen, et al., 2008; Phillips-Silver & Trainor, 2008; Bengtsson et al., 2009; Grahn, 2009; Grahn & Rowe, 2009; Kung, Chen, Zatorre, & Penhune, 2012). Ces résultats suggèrent que les régions motrices joueraient un rôle dans la perception du beat lors de l'écoute de séquences auditives comme nous l'avons mentionné précédemment (cf. 2.3.1. Généralités).

De plus, il semble que la réponse motrice faisant suite à la perception d'événements rythmiques visuels ne serait pas aussi automatique que la réponse associée à la perception d'événements auditifs (Zatorre et al., 2007) suggérant que les systèmes auditif et moteur sont particulièrement liés dans le traitement du rythme. Cette connexion entre les systèmes auditif et moteur est remarquée dans la perception du beat mais aussi dans la production de mouvements rythmiques, même en l'absence de toute stimulation auditive (Lotze, Scheler, Tan, Braun, & Birbaumer,

2003). Dans cette étude d'imagerie cérébrale fonctionnelle, il a été mis en évidence une activation des aires motrices et des connexions audio-motrices chez des musiciens qui exécutaient des mouvements en imaginant des sons. Les résultats de ces différentes études suggèrent que la perception du beat auditif, qu'il soit physiquement présent ou non, ou qu'un geste lui soit associé ou non, implique un couplage audio-moteur au niveau cérébral.

2.3.4. Mécanismes de réponses face aux variations du timing

2.3.4.1. *Influence du tempo*

L'intervalle de temps entre deux beats ou la période (*Inter-Onset Interval*, IOI) correspond au tempo. Plus cet intervalle est court, plus le tempo est rapide. Cependant, le tempo perçu est limité par des intervalles de temps. Si le tempo de la musique est trop rapide, les événements auditifs deviendront indissociables (London, 2012). Si le tempo de la musique est trop lent, les événements seront trop espacés dans le temps pour que l'auditeur puisse prédire leur occurrence. Dans ce cas, il ne percevra que des événements isolés sans appréhender l'organisation globale du rythme (Pöppel, 1997).

L'étendue des tempi perçus serait de 100 à 2500 millisecondes (London, 2002; McAuley, 2010; London, 2012). Ces limites du tempo sont également retrouvées dans la synchronisation des mouvements à des stimulations auditives. Selon Fraise (1982), les limites de la synchronisation se situeraient entre 200 et 1800 millisecondes. Elles seraient toutefois susceptibles de varier en fonction du contexte et des individus (Repp, 2003; McAuley, Jones, Holub, Johnston, & Miller, 2006). La limite inférieure (tempo rapide) serait probablement fixée par la vitesse maximale du tapping (Cousins, Corrow, Finn, & Salamone, 1998). La limite supérieure (tempo lent), quant à elle, serait liée à des difficultés de prédiction de l'occurrence du stimulus induites par des contraintes cognitives (Mates, Müller, Radil, & Pöppel, 1994).

Entre les limites extrêmes, un tempo préférentiel se dégage pour chaque individu. Ce tempo préféré doit être considéré comme ni trop rapide, ni trop lent (Fraise, 1982 ; McAuley et al., 2006). Ce tempo préférentiel pour une personne adulte lors d'écoute de séquences auditives serait estimé en général à un intervalle de 600 ms entre les beats (Fraise, 1982; McAuley et al., 2006). Une autre manière d'identifier le tempo préféré consiste à mesurer le tempo moteur spontané à travers une tâche de tapping au cours de laquelle le participant est invité à taper au tempo avec lequel il se sent le plus confortable sans écouter de stimulus. A nouveau, un

intervalle de 600 ms entre les beats est généralement retrouvé (Fraisse, 1982 ; McAuley et al., 2006; Schwartze, Tavano, Schröger, & Kotz, 2012; Sowiński & Dalla Bella, 2013; Schwartze, Keller, & Kotz, 2016). Le tempo préféré perçu lors d'écoute de séquences auditives et le tempo moteur spontané sont fortement corrélés suggérant à nouveau un couplage audio-moteur au niveau du tempo préférentiel (McAuley et al., 2006; Michaelis, Wiener, & Thompson, 2014).

Le tempo moteur spontané mettrait en évidence des processus internes de la perception et du traitement du timing (Boltz, 1994; Schwartze et al., 2016). Il serait très variable d'un individu à l'autre, le tempo moteur spontané pouvant fluctuer de 200 à 1600 ms selon l'âge. Ainsi le tempo préféré (perçu et produit) diminuerait avec l'âge (Drake, Jones, & Baruch, 2000; Vanneste, Pouthas, & Wearden, 2001; McAuley et al., 2006) et se situerait autour de 650 ms pour les personnes âgées de 75 ans et plus (McAuley et al., 2006).

Selon Fraisse (1982), le tempo interne, soit le tempo moteur spontané, se synchroniserait avec le tempo de la musique. Ceci illustre le phénomène d'*entraînement* suggérant que le tempo interne de l'individu se synchroniserait au tempo de la séquence perçue par un mécanisme d'adaptation temporelle (Large & Jones, 1999). La perception de ce tempo aurait une résonance motrice chez l'auditeur. Plus le tempo de la musique serait proche de ce tempo spontané, plus la synchronisation au tempo de la musique serait facile. De ce fait, l'utilisation d'un tempo correspondant au tempo moteur spontané a régulièrement été utilisé dans les études examinant le mécanisme de synchronisation du *tapping*. Notamment, un lien entre le tempo moteur spontané et la performance de synchronisation à un tempo musical a été trouvé lors du *tapping* (van Noorden & Moelants, 1999; Moelants, 2002) ou de la marche (Styns, van Noorden, Moelants, & Leman, 2007; Leman et al., 2013). Ce lien met en évidence que les performances de synchronisation seraient augmentées quand le tempo de la musique correspond au tempo moteur spontané par comparaison à un tempo plus lent ou plus rapide.

Comme nous l'avons écrit ci-dessus, le tempo moteur spontané illustre les représentations du timing interne des individus. Par conséquent, ce tempo spontané permettrait de prédire les performances de synchronisation comme le montrent Sowiński et Dalla Bella (2013). Plusieurs études se sont intéressées à mettre en évidence l'influence de représentations variables du timing, mesurées par le tempo moteur spontané, sur les performances de synchronisation. Par exemple, des personnes présentant une lésion des ganglions de la base, impliqués dans le traitement du timing (Grahn, 2009), présentaient un tempo moteur spontané mais aussi une

synchronisation plus variables que les témoins (Schwartz et al., 2012, 2016). Par conséquent, les représentations internes du timing peuvent démontrer une variabilité qui modulerait la performance de synchronisation.

2.3.4.2. Adaptation temporelle et mécanismes de correction

La correction des erreurs est nécessaire dans le processus de synchronisation, même quand il s'agit de synchronisation à des séquences isochrones. L'adaptation temporelle du mouvement en réponse à l'apparition du stimulus permet de corriger et de maintenir la synchronisation lors de variations dans le timing de la séquence rythmique. L'adaptation temporelle par rapport à l'apparition du beat s'effectuerait selon deux processus : une correction de « phase » et une correction de « période » (Repp, 2005; McAuley, 2010; Repp & Su, 2013). La correction de phase est un processus automatique et n'affecte pas l'intervalle de temps entre les beats (ou tempo). Cette correction de phase consiste à modifier la réponse motrice sans changer l'intervalle de temps entre les tapes. La modification du moment de la production de la réponse motrice s'effectue notamment sur base de la précédente asynchronie entre le beat et la réponse motrice. De cette manière, le décalage de phase est identifié illustrant si la réponse motrice survient en avance ou en retard par rapport au stimulus permettant ainsi de diminuer l'asynchronie. La correction de période consiste par contre en une modification généralement volontaire (raccourcissement ou allongement de la période) de l'intervalle de temps entre les réponses motrices (soit par accélération, soit par ralentissement). Cette correction se produit soit en comparant les intervalles de temps perçus entre les stimuli avec les intervalles entre les réponses motrices (Mates, 1994), soit en observant les asynchronies perçues entre la réponse et le stimulus (Schulze, Cordes, & Vorberg, 2005). Ce mécanisme de correction de période impliquerait néanmoins un effort cognitif lié à l'attention, la mémoire de travail, les fonctions exécutives et l'imagerie mentale (Keller, 2012; Schwartz et al., 2012).

2.3.4.3. Prédiction temporelle et anticipation motrice

Un autre mécanisme de réponse face aux variations du timing est celui de la prédiction temporelle et de l'anticipation motrice du beat. Il permet d'améliorer la synchronisation au beat. Comme mentionné précédemment, l'anticipation motrice résulterait de connexions entre les systèmes auditif et moteur. En effet, des études ont montré que l'activité oscillatoire des bandes de fréquence beta enregistrée dans le cortex auditif serait synchrone au beat de la séquence sonore (Snyder & Large, 2005; Fujioka et al., 2009) et même lors de l'imagination du beat

(Iversen et al., 2009). Or, l'activité beta est connue pour son implication dans le processus moteur (Schnitzler et al., 1997) et les réseaux sensorimoteurs (Mayville et al., 2001) suggérant le rôle de cette bande de fréquence dans le couplage audio-moteur. Une autre étude s'est intéressée à l'examen de cette activité de la bande de fréquence beta lors de variations de tempo dans les processus de prédiction temporelle (Fujioka et al., 2012). Les résultats ont montré que les variations du tempo étaient suivies par l'activité oscillatoire des bandes de fréquence beta enregistrée dans le cortex auditif et les aires motrices (incluant le cortex sensorimoteur, le gyrus frontal inférieur, l'aire motrice supplémentaire et le cervelet). De tels résultats suggèrent l'implication de l'activité beta dans les mécanismes de prédiction temporelle et d'anticipation de l'action motrice qui interviennent suite à un couplage audio-moteur, même si aucun mouvement n'est produit. Par conséquent, il semble qu'un réseau de neurones reliant les aires auditives et les régions traitant la planification motrice permet l'anticipation motrice à l'apparition du stimulus.

La prédiction temporelle a également été étudiée lors de tâche de synchronisation du *tapping*. Comme nous l'avons présenté ci-dessus, plusieurs études ont rapporté la présence d'une asynchronie moyenne négative (NMA) lors de la synchronisation au beat du métronome (Aschersleben, 2002; Repp, 2005; Repp & Su, 2013). Cette asynchronie négative, correspondant à une réponse motrice précédant le stimulus, reflèterait un mécanisme d'anticipation de l'apparition du stimulus. La prédiction peut toutefois être erronée et conduire à trop anticiper l'arrivée du stimulus comme décrit précédemment (cf. 2.3.1. Généralités). Dans ce cas, le feedback auditif aiderait à réduire l'asynchronie (Aschersleben, 2002). Ce phénomène de NMA ou d'anticipation serait présent lors de l'écoute du métronome mais moins lors de l'écoute de la musique (Thaut, Rathbun, & Miller, 1997; Aschersleben, 2002; Sowiński & Dalla Bella, 2013; Dalla Bella et al., 2017). En effet, bien que le métronome montre une NMA lors de la synchronisation sensorimotrice, la musique serait associée à une asynchronie moyenne négative ou positive plus réduite qu'avec le métronome de manière générale. Cette différence d'asynchronie entre le métronome et la musique pourrait s'expliquer par la complexité rythmique.

Le métronome présente des intervalles réguliers entre les beats. Ces intervalles sont vides permettant à l'individu d'anticiper l'apparition du stimulus. Cependant, plus le tempo est lent, plus la réponse précède et s'écarte de l'arrivée du stimulus. La musique, par contre, présente des intervalles irréguliers entre les beats et l'organisation métrique sous-jacente permet à

l'auditeur d'extraire les beats. Cette complexité rythmique de la musique rendrait la détection du beat plus difficile que dans une séquence isochrone comme le métronome (Chen et al., 2006; Chen, et al., 2008; Phillips-Silver et al., 2011; Sowiński & Dalla Bella, 2013; Tranchant et al., 2016). Par conséquent, il serait plus difficile de prédire l'apparition du beat dans la musique que dans le métronome ce qui entraînerait une anticipation réduite de la réponse motrice par rapport à l'occurrence du stimulus. Toutefois, même si la réponse motrice est produite en général après l'occurrence du stimulus lors de l'écoute de musique, cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas de prédiction temporelle du beat. En réalité, l'anticipation du stimulus est une réponse au stimulus mais qui précède en général celui-ci (Mates, Radil, & Pöppel, 1992). Cependant, dans le cas de la musique, cette réponse peut être parfois retardée.

L'influence des variations de tempo permet également de mettre en évidence le processus de prédiction temporelle dans une tâche de synchronisation. En demandant à des musiciens de se synchroniser au beat du métronome dans une condition avec ou sans variation du tempo, Pecenka & Keller (2009) ont évalué la précision et la variabilité de la synchronisation à partir d'une mesure d'« asynchronie moyenne signée » (asynchronie qu'elle soit négative dans le cas d'une anticipation ou positive dans le cas d'une réponse retardée). Les auteurs calculaient également le ratio de réponses anticipées/retardées par rapport à l'occurrence des beats dans la tâche avec des changements du tempo. Comme attendu, les résultats ont montré que la synchronisation était plus précise (plus proche de 0) et moins variable en l'absence plutôt qu'en présence d'une variation du tempo. Dans la tâche de variation de tempo, les résultats ont révélé sur base de la mesure de ratio que la majorité des participants produisait en proportion plus de réponses anticipées que retardées. De plus, les participants démontrant un ratio plus élevé de réponses anticipées que retardées présentaient une synchronisation plus précise que les autres. Dans cette même étude, les auteurs ont ajouté une tâche d'imagerie auditive consistant à maintenir en mémoire l'image d'un son. Il est apparu que les participants qui avaient les meilleurs scores à la tâche d'imagerie auditive avaient également une synchronisation plus précise et moins variable que les autres. Ces données mettent donc en évidence non seulement que l'anticipation motrice mais également les capacités d'imagerie auditive et de mémoire de travail améliorent la précision de la synchronisation.

Dans l'objectif de tester l'influence de l'effort cognitif sur la prédiction temporelle de la synchronisation, une tâche de synchronisation du tapping au beat auditif a été réalisée tout en effectuant des tâches visuelles de mémoire de travail de différents niveaux de difficulté dans le

contexte d'une étude de neuroimagerie fonctionnelle (Pecenka, Engel, & Keller, 2013). Les résultats ont montré que les performances de prédiction temporelle, de précision et de variabilité de la synchronisation diminuaient avec l'augmentation de l'effort cognitif mobilisé. Cependant, au contraire de la prédiction temporelle, les distracteurs cognitifs n'influençaient pas le degré de réponses retardées par rapport au beat (*tracking the beat*). Une corrélation a également montré que la prédiction temporelle (par comparaison à la réponse retardée) était liée à de meilleures performances de synchronisation (précision et variabilité). De plus, cette étude a rapporté que le mécanisme de prédiction impliquait un réseau cortico-cérébelleux (cortex moteur et prémoteur, aire motrice supplémentaire, cervelet et cortex pariétal inférieur bilatéral) confirmant le rôle de ces structures déjà démontré dans l'intégration sensorielle des informations mais aussi dans le contrôle moteur et l'adaptation temporelle (Rao et al., 1993; Chen et al., 2006, 2008; Bengtsson et al., 2009; Grahn & Rowe, 2009; Kung et al., 2012). Pecenka, Engel et Keller (2013) ont également mis en évidence que la prédiction temporelle reposait sur l'activation cérébrale des régions du cortex préfrontal et cingulaire. L'activation de ces aires sont en général associées à des fonctions cognitives de plus haut niveau (Ullsperger & von Cramon, 2004; Carrington & Bailey, 2008). Par conséquent, les mécanismes de prédiction temporelle pourraient fluctuer en fonction de la mobilisation des ressources cognitives tout comme le montrent les différences entre les corrections de phase et de période.

2.3.4.4. *Lien entre performances de synchronisation et capacités cognitives*

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, les mécanismes d'adaptation et de prédiction temporelle sont susceptibles de mobiliser des ressources cognitives (Pecenka et al., 2009; Keller, 2012; Schwartze et al., 2012; Pecenka et al., 2013). Cependant, d'autres études se sont intéressées au lien qui pourrait exister entre les capacités cognitives des individus et les performances de synchronisation.

Dans une étude où les scores de synchronisation de musiciens à des beats musicaux étaient analysés en lien avec des scores obtenus dans des tests de mémoire de travail (le Digit Span et le Letter-Number Sequencing, deux sous-tests de la WAIS III, Wechsler, 1997), Bailey & Penhune (2010) ont montré que l'asynchronie moyenne absolue (précision) et la déviation des intervalles entre les tapes (*inter-tap interval*, ITI) étaient corrélées aux résultats obtenus aux tests cognitifs. Ces résultats suggèrent donc l'existence d'un lien entre les capacités de mémoire de travail et la synchronisation. Dans une étude ultérieure, ces mêmes auteurs ont également démontré que plus l'apprentissage d'un instrument de musique avait commencé tôt, meilleures

étaient les performances de synchronisation aux beats musicaux (Bailey & Penhune, 2012).

L'examen du lien entre les capacités de mémoire de travail et les performances de synchronisation a fait l'objet d'une étude plus récente (Colley, Keller, & Halpern, 2018). Cette fois-ci, la synchronisation du tapping au beat d'extraits musicaux était analysée en lien avec des résultats à des tests de mémoire de travail (*Digit span backward* et *operation span*) et avec les capacités d'imagerie mentale auditive mesurée avec le questionnaire du *Bucknell auditory imagery scale* (Halpern, 2015). Selon les résultats de cette étude, les scores de mémoire de travail expliquaient la variance de l'anticipation lors de la synchronisation. De plus, les aptitudes d'imagerie auditive permettaient de prédire non seulement l'anticipation mais aussi les asynchronies dans les tâches de synchronisation, en accord avec les données rapportées par Pecenka et ses collaborateurs (2009) démontrant l'implication de l'imagerie auditive dans la synchronisation du tapping.

L'influence de l'attention sur la synchronisation a été largement débattue (Geiser, Sandmann, Jäncke, & Meyer, 2010; Ladinig, Honing, Hádén, & Winkler, 2011). Il semble néanmoins que le type de stimulus utilisé (Bouwer, Zuijen, & Honing, 2014) et l'effort cognitif (Repp & Keller, 2004) influencent les ressources attentionnelles nécessaires à la détection du beat mais aussi à la synchronisation (Pecenka et al., 2013). Ces données suggèrent donc que l'attention joue un rôle important dans le processus de synchronisation. Dans une étude (Tierney & Kraus, 2013a) réalisée chez des adolescents, les liens entre la synchronisation au beat du métronome et les scores à des tests d'attention visuelle ou auditive (IVA, Auditory continuous performance test, Sandford & Turner, 2000 ; IMAP, Institute for hearing research multicentre battery of auditory processing, Barry, Ferguson, & Moore, 2010) ont été examinés. Les résultats ont mis en évidence que la variabilité de la synchronisation était corrélée aux performances attentionnelles tant en modalité auditive que visuelle confirmant l'implication de l'attention dans le processus de synchronisation.

Une autre étude a notamment évalué l'impact de l'attention portée au beat lors de la synchronisation au rythme de la musique (Leow, Waclawik, & Grahn, 2017). Durant la réalisation d'une tâche sémantique administrée via un enregistrement audio, les participants devaient marcher soit en se synchronisant au beat, soit naturellement sans consigne particulière. En utilisant des analyses statistiques circulaires sur base d'un vecteur présentant un angle (asynchronie ou précision) et une variance angulaire (variabilité des asynchronies) (Fisher,

1993), les auteurs ont montré que la variabilité de la marche était plus importante lorsqu'aucune consigne de synchronisation n'était donnée (par comparaison à la présence de consigne). En revanche, la précision ne semblait pas être affectée par la présence ou non de la consigne de synchronisation. Cette étude suggère donc que l'attention au stimulus est nécessaire pour augmenter la performance de synchronisation bien que les effets de l'attention au stimulus se verraient davantage sur la variabilité que sur la précision de la synchronisation. Toutefois, la régularité des beats perçus peut justifier les différences modérées entre les deux conditions. En effet, la répétition et la régularité des beats attire l'attention du participant (cf. dynamic attending theory, Jones, 1976). Cette attraction vers le beat de la musique lors de la synchronisation (Dalla Bella, Białuńska, & Sowiński, 2013; Białuńska & Dalla Bella, 2017) indiquent que la musique attire plus l'attention du participant que les phrases entendues dans la tâche sémantique. Il semblerait donc que le rythme de la musique attire spontanément le mouvement plus que d'autres séquences rythmiques auditives tel que le langage.

Enfin, l'influence de l'effort cognitif sur la performance de synchronisation a été examinée à travers la réalisation d'une tâche de mémoire de travail pendant la synchronisation au beat (Maes, Wanderley, & Palmer, 2015). La mémoire de travail ainsi que le processus de double tâche sont associés aux mécanismes de contrôle exécutif. Comme l'ont montré Pecenka et al (2013), la double tâche affecte la prédiction temporelle des beats mais aussi la performance de synchronisation comme le confirme cette étude (Maes et al., 2015). Cependant, Maes et ses collaborateurs (2015) ont mis en évidence que cette double tâche influençait uniquement les mouvements discrets (mouvements présentant une fin de cycle comme le tapping) et non les mouvements continus (mouvements ne présentant pas de fin de cycle comme rouler à vélo), confirmant les données précédemment publiés (e.g. Zelaznik et al., 2005). Ce résultat s'expliquerait par le fait que les mouvements discrets dépendraient de la représentation explicite du timing alors que les mouvements continus seraient liés au timing émergent. Par conséquent, ces derniers ne seraient pas affectés par l'effort cognitif car leur processus serait relativement automatique.

En résumé, les mesures de synchronisation mais aussi les différents mécanismes de réponses pour la corriger et la maintenir sont susceptibles d'être influencés par les capacités cognitives. Cependant, l'effort cognitif n'affecterait pas l'ensemble des processus de synchronisation. En effet, selon les résultats de Maes et al. (2015), l'effort cognitif aurait peu d'impact sur les comportements émergents qui se synchronisent de manière automatique au beat.

2.4. Réponse motrice modulée par le rythme de la musique comme forme d'engagement

2.4.1. Types de mouvements induits par la musique

Bouger au rythme de la musique procure du plaisir (Janata et al., 2012). Ce plaisir pourrait s'expliquer par le couplage audio-moteur entre le mouvement et le beat sur base des prédictions temporelles (lorsqu'elles sont correctes) de l'apparition du stimulus (Salimpoor, Benovoy, Larcher, Dagher, & Zatorre, 2011). Ces attentes temporelles activeraient les circuits cérébraux de la récompense modulant l'état émotionnel et la motivation (Salimpoor et al., 2013, 2015; Mas-Herrero et al., 2018; Ferreri et al., 2019). Etant donné l'importance du couplage audio-moteur, le type de mouvements utilisés en réponse à la musique pourrait influencer le plaisir de bouger au rythme de la musique.

La grande majorité des études dans le domaine de la synchronisation sensorimotrice et du traitement du rythme ont utilisé le tapping de l'index. Cependant, d'autres mouvements naturels ont été examinés montrant des mécanismes différents dans le processus du timing. Il s'agit de mouvements continus par opposition aux mouvements discrets. Le mouvement continu correspond à un mouvement qui ne présente pas un événement final du cycle alors que le mouvement discret comme le tapping illustre une action avec un événement marquant une fin, soit le moment où l'index touche la surface (e.g. Repp & Steinman, 2010; Delignières & Torre, 2011). Les représentations du timing seraient différentes entre les mouvements discrets et continus (Repp & Steinman, 2010; Studenka, Zelaznik, & Balasubramaniam, 2012). Ceci aurait un impact sur la synchronisation au beat montrant notamment que la variabilité de la synchronisation au métronome serait moins élevée avec les mouvements discrets plutôt que continus (Repp & Su, 2013). Cependant, le désir de bouger, illustré par l'effet « *groove* », est présent en particulier lors de l'écoute de certains styles de musique. Cet effet groove est rapporté pour être très plaisant (Madison, 2006; Janata et al., 2012; Witek, Clarke, Wallentin, Kringelbach, & Vuust, 2014). Il entraînerait des mouvements rythmiques spontanés de la tête, du pied et du tronc (Janata et al., 2012). Lors de l'écoute de musique, les participants rapportent qu'ils préfèrent bouger librement en interaction avec la musique plutôt que d'utiliser le tapping de la main sans autre mouvement (Janata et al., 2012). De plus, le fait de bouger pourrait influencer la perception du beat (Su & Pöppel, 2012; Manning & Schutz, 2013). Par conséquent, le type de mouvements influence non seulement le traitement du rythme mais pourrait moduler le plaisir de bouger au rythme de la musique.

Plusieurs études se sont intéressées au type de mouvements utilisés pour évaluer la synchronisation. Par exemple, une comparaison entre le tapping du doigt et l'usage d'une baguette montrait une variabilité plus basse lorsque les participants se synchronisaient à l'aide d'une baguette plutôt qu'avec le tapping du doigt (Fujii & Oda, 2009; Madison & Delignières, 2009; Madison, Karampela, Ullén, & Holm, 2013). Sur base de ce résultat, nous avons utilisé un objet pour le tapping dans les travaux de cette thèse. Une étude s'est également intéressée à comparer la synchronisation du *clapping* (taper des mains) et celle du *bouncing* (plier les genoux) au rythme de la musique et aux beats du métronome montrant des différences de performances entre ces deux mouvements (Tranchant et al., 2016). Ceci confirme que le type de mouvements peut moduler le traitement du rythme et la synchronisation. La marche présente également de plus en plus d'intérêt de recherche notamment pour des questions de réhabilitation motrice (Styns, van Noorden, Moelants, & Leman, 2007; Leman et al., 2013; Benoit et al., 2014; Leow, Parrott, & Grahn, 2014; Leow, Rinchon, & Grahn, 2015; Leow et al., 2017; Moumdjian, Buhmann, Willems, Feys, & Leman, 2018 pour une revue).

2.4.2. Musique et métronome : synchronisation sensorimotrice

Nous avons vu d'une part que la perception du beat et de la métrique permet de se synchroniser au rythme d'une musique et d'autre part que le mouvement est susceptible d'aider à la perception du beat. Cependant, la musique peut présenter une complexité rythmique rendant plus ou moins difficile la détection du beat. Notamment, le beat n'est pas toujours acoustiquement présent ce qui peut nécessiter le recours à des niveaux élevés de ressources cognitives afin de percevoir le beat et la métrique. Par conséquent, la synchronisation au beat lors de l'écoute de musique est influencée par la complexité rythmique. De manière générale, la synchronisation est meilleure si la complexité rythmique est faible. Ainsi, la synchronisation durant le *tapping* du doigt (Sowiński & Dalla Bella, 2013; Dalla Bella et al., 2017), le *clapping* des mains ou le *bouncing* des genoux (Phillips-Silver et al., 2011; Tranchant et al., 2016) est moins variable et la réponse au beat plus anticipée (asynchronie moyenne négative) avec une séquence métronomique qu'avec une séquence musicale.

Plusieurs études ont abordé cette différence entre la synchronisation au rythme de la musique et aux beats du métronome à partir de l'étude de cas, et notamment de personnes présentant des difficultés de synchronisation et de perception du beat (Phillips-Silver et al., 2011; Sowiński & Dalla Bella, 2013; Palmer et al., 2014; Tranchant et al., 2016). La première a observé le cas

d'un individu (« Mathieu ») qui présentait des difficultés de synchronisation au beat de la musique (Phillips-Silver et al., 2011). Après avoir écarté les causes d'origine auditive, cognitive et motrice, les auteurs ont examiné la synchronisation avec une tâche de *tapping* de la main ou de *bouncing* en écoutant un métronome, des extraits musicaux ou en silence (mouvement spontané). Seule, la synchronisation (tant avec le *tapping* que le *bouncing*) à la musique était déficitaire alors que la synchronisation au métronome ainsi que le *bouncing* spontané étaient dans les normes. L'investigation des capacités perceptives (tests rythmiques et métriques de la Montreal battery of evaluation of amusia, Peretz, Champod, & Hyde, 2003) a mis en évidence des scores déficitaires, suggérant la présence d'un trouble perceptif du beat (*beat-deafness*) rendant difficile la détection du beat dans un extrait musical. Cette étude démontre que des troubles de la perception du beat perturbent la synchronisation à la musique, mais ne semblent pas affecter la synchronisation au métronome. A noter toutefois que Mathieu était capable de se synchroniser au beat de la musique lorsqu'il suivait l'expérimentateur sur base d'une imitation visuelle. Ceci confirme que la présentation bimodale du stimulus augmente les performances de synchronisation par comparaison à la modalité auditive ou visuelle (Elliott, Wing, & Welchman, 2010). Dans une étude ultérieure, Palmer et al. (2014) ont montré que Mathieu était capable de se synchroniser au métronome et d'anticiper l'occurrence du beat (NMA) en absence de perturbations du tempo. Cependant, il avait besoin de plus de tapes que des contrôles pour aligner ses tapes à l'occurrence du beat après une perturbation du tempo. Les auteurs ont interprété ces résultats comme le signe d'une difficulté de synchronisation entre l'activité oscillatoire interne et les stimuli externes. Par conséquent, la difficulté à percevoir le beat n'influçait pas la performance de synchronisation au beat lors de l'écoute d'un métronome mais des problèmes de représentations internes du timing rendaient difficiles l'adaptation temporelle aux variations de tempo.

Dans une autre étude (Sowiński & Dalla Bella, 2013), des personnes présentant des difficultés à synchroniser leur *tapping* au beat de la musique et/ou du métronome étaient comparées à des sujets contrôles. Pour tous les participants, la synchronisation était moins variable avec le métronome qu'avec la musique. De plus, la NMA était plus négative avec les beats du métronome qu'avec ceux de la musique confirmant ainsi les données de la littérature (Thaut et al., 1997; Aschersleben, 2002; Repp, 2005) suggérant une plus grande anticipation de la réponse motrice avec le métronome qu'avec la musique. Cependant, les participants avec de faibles performances de synchronisation ne montraient notamment pas de troubles du contrôle moteur, étant capables de maintenir un tempo spontané en silence. Dans une seconde expérience de

cette étude, il est apparu que ces mêmes personnes présentaient une plus grande variabilité de synchronisation avec la musique ou avec un bruit blanc plutôt qu'avec un métronome. Parmi eux, certains présentaient des troubles perceptifs, tout comme Mathieu. En effet, l'extraction du beat dans la musique ou dans le bruit blanc est plus complexe qu'avec une séquence métronomique. D'autres, en revanche ne présentaient pas de troubles perceptifs. Par conséquent, les auteurs attribuaient alors leurs difficultés de synchronisation à un trouble du couplage sensorimoteur.

La dissociation inverse entre les capacités de perception et de synchronisation a été décrite plus récemment (Bégel et al., 2017). A partir d'une version adaptée du *Beat Alignment Test* (BAT, issu de la BAASTA, Dalla Bella et al., 2017) consistant à détecter si les beats d'un métronome (superposé à la musique) coïncidaient ou non avec le beat musical, il est apparu que certains participants démontraient des difficultés de perception du beat. Cependant, ces individus ne présentaient pas tous d'altération de la synchronisation démontrant qu'il est possible de se synchroniser au beat tout en ayant des difficultés pour le percevoir. Afin de vérifier si ces personnes étaient cependant sensibles à la régularité temporelle, il leur était demandé de taper le plus rapidement possible après l'apparition d'un stimulus auditif survenant après une séquence isochrone ou irrégulière. Ces participants, tout comme les contrôles, présentaient des temps de réaction plus courts après l'écoute d'une séquence isochrone plutôt qu'irrégulière, démontrant une sensibilité à la régularité temporelle. La synchronisation chez les personnes présentant un trouble de la perception du beat, reposerait donc sur des mécanismes de traitement implicite du timing. Par conséquent, les auteurs interprétaient que le traitement implicite du timing pouvait contourner les difficultés de perception chez certains participants expliquant ainsi pourquoi ces participants présentaient des performances de synchronisation dans les normes. Ainsi, la synchronisation reposerait à la fois sur un traitement cognitif intentionnel et automatique, comme observé dans les différences entre la correction de phase et de période (cf. 2.3.4.2. Adaptation temporelle et mécanismes de correction).

La synchronisation au beat du tempo (synchronisation de période) lors de l'écoute de séquences musicales et métronomiques a également été examinée sur le clapping et le bouncing chez des personnes présentant des difficultés de synchronisation par comparaison à des témoins (Tranchant et al., 2016). De nouveau, la grande majorité des participants étaient capables de synchroniser le clapping et le bouncing au tempo du métronome et, dans une moindre mesure, au tempo musical. La différence de synchronisation entre la condition métronomique et

musicale s'élargit chez les participants présentant des difficultés de synchronisation. Cependant, les auteurs ont mis en évidence chez certains contrôles, des capacités de synchronisation à la musique aussi bonnes qu'avec le métronome, voir même plus élevées lorsque les extraits musicaux présentaient un niveau élevé d'effet groove comme remarqué avec la dance lounge ou le pop rock. Ce résultat est surprenant et démontre que l'aspect plaisant et entraînant de ces styles de musique semble faciliter la synchronisation. Des résultats comparables ont également été retrouvés pour la synchronisation de la marche (Leow et al., 2014). Par conséquent, il est probable que l'effet groove permette de réduire les ressources cognitives mobilisées dans la synchronisation au beat.

2.4.3. Musique et métronome : réponse motrice spontanée

En-dehors des mesures de synchronisation, des différences existent également quand il s'agit de produire des mouvements spontanés (par ex., marcher) avec un métronome ou une musique notamment en termes de motivation. Même si le beat est moins saillant dans la musique que dans le métronome, il semble que les caractéristiques acoustiques de la musique puissent moduler les mouvements de l'auditeur. Ainsi, Styns et al. (2007) ont montré que les participants marchaient plus vite avec une musique qu'avec un métronome. De même, il est apparu que les mouvements spontanés de la main étaient plus importants pendant l'écoute de musique que du métronome (Styns, van Noorden, & Leman, 2006). Ces données suggèrent que les caractéristiques propres à la musique peuvent influencer le mouvement et que l'engagement rythmique serait plus important avec la musique qu'avec le métronome. En fonction des caractéristiques de la musique, il a été montré que la longueur des pas de la marche augmentait ou diminuait par comparaison au métronome (Leman et al., 2013). Dans d'autres études (Leow et al., 2014; Leow et al., 2015), il a été rapporté que la vitesse et la longueur des pas dépendaient de l'effet groove et du tempo, les pas étant plus lents et plus courts lorsque l'effet groove était faible. De plus, la familiarité des chansons accélère la vitesse de la marche par comparaison à des chansons non-familières (Leow et al., 2015) mais cet effet de la familiarité des chansons ne semble pas interagir avec l'effet groove. Bien que la différence entre métronome et musique ne soit pas toujours mise en évidence sur la vitesse et la longueur des pas (Leow et al., 2017) ou sur l'endurance face à l'épuisement lors de la course à pied (Bood, Nijssen, Kamp, & Roerdink, 2013), le métronome ne présente pas la même diversité acoustique, ni les mêmes effets hédoniques que la musique, qui incite spontanément les personnes à bouger. Cependant, la régularité temporelle de la musique par comparaison au langage suffirait à induire un

engagement rythmique comme le suggèrent les résultats d'une étude réalisée sur de jeunes enfants (Zentner & Eerola, 2010).

En résumé, la musique et le métronome, dont la complexité rythmique et la saillance perceptive du beat diffèrent, influencent différemment le mouvement. Nous avons vu que ces effets se manifestent non seulement dans le tapping mais aussi dans la marche, le clapping et le bouncing lors de la synchronisation au beat. Toutefois, de nombreuses caractéristiques propres à la musique peuvent moduler son impact sur la réponse motrice comme les variations de tempo, la modalité de présentation du stimulus (unimodale ou multimodale), l'effet groove et la familiarité des chansons par exemple. De plus, le couplage sensorimoteur, les représentations internes du timing, les capacités de perception du beat et de la métrique ainsi que les capacités de contrôle moteur sont susceptibles de moduler également ces réponses motrices à l'écoute musicale.

2.5. Impact du vieillissement dans l'engagement induit par la musique

2.5.1. Vieillesse normale

2.5.1.1. *Capacités de synchronisation*

L'étude de synchronisation au cours du vieillissement a fait l'objet de plusieurs travaux. En comparant différentes tranches d'âge (Thompson, White-Schwoch, Tierney, & Kraus, 2015), il est apparu que la synchronisation du tapping aux beats du métronome était plus variable (c'est-à-dire que l'écart-type des ITIs était plus grand) chez les personnes âgées de 51 à 80 ans (30 ms environ) que chez les adultes âgées de 22 à 43 ans (20 ms environ). L'asynchronie signée négative ou l'anticipation motrice (mesurée en millisecondes) était quant à elle plus importante chez les personnes âgées de 51 à 80 ans (-35 ms environ) que chez les adultes âgées de 22 à 43 ans (-15 ms environ) et que chez les adultes âgées de 18 à 22 ans (-15 ms environ également). Ces résultats suggèrent donc que les performances de synchronisation diminueraient au cours du vieillissement. Selon les auteurs de cette étude, le déclin des performances de synchronisation lié à l'âge peut s'expliquer non seulement par une réduction des capacités de contrôle moteur mais aussi par un effet de l'âge sur la réponse neuronale à des stimuli auditifs. En effet, la dégénérescence des systèmes de neurotransmetteurs entraîne un déclin du contrôle moteur illustré par une réduction des capacités de coordination motrice et de la marche ainsi que par le ralentissement moteur (Seidler et al., 2010). De même, l'âge conduit à un

ralentissement de la transmission neuronale et à une réduction non seulement de la précision temporelle mais aussi de la constance et de la magnitude de la réponse neuronale au niveau du système auditif (Anderson, Parbery-Clark, White-Schwoch, & Kraus, 2012). Etant donné le lien entre le processus de synchronisation du tapping et la constance de la réponse neuronale (Tierney & Kraus, 2013b), l'effet de l'âge sur cette réponse neuronale à des stimuli auditifs affecterait la performance de synchronisation.

L'effet de l'âge sur le contrôle moteur et sur le maintien du timing a également été étudié sur base de la tâche de tempo moteur spontané. Comme nous l'avons vu précédemment (cf. 2.3.4.1. Influence du tempo), le tempo moteur spontané reflète non seulement le contrôle moteur mais aussi les processus internes du traitement du timing (Boltz, 1994; Schwartze et al., 2016). Selon McAuley et al. (2006), le tempo spontané des personnes de 75 ans et plus est de 648 ms (moyenne des ITIs) alors qu'il est de 632 ms pour les personnes âgées de 60 à 74 ans et de 630 ms pour les jeunes adultes de 18 à 38 ans. Ces résultats répliquent ceux d'une étude précédente confirmant un ralentissement du tempo moteur spontané notamment à partir de 70 ans environ (Vanneste et al., 2001). Ces deux études (Vanneste et al., 2001; McAuley et al., 2006) ont mis en évidence que bien que le tempo spontané se ralentit avec l'âge, la variabilité de celui-ci reste relativement stable.

L'influence de l'âge sur les capacités d'adaptation et de prédiction temporelle a aussi fait l'objet d'une étude (Turgeon, Wing, & Taylor, 2011). Après une tâche de tapping moteur spontané consistant à taper le plus rapidement possible en gardant le même tempo, des personnes âgées de 19 à 98 ans (sans trouble cognitif significatif) ont réalisé une tâche de détection d'irrégularités temporelles avec différents tempi. Tandis que l'âge réduisait la vitesse du tapping spontané (mais pas la variabilité du tapping), il ne perturbait pas la détection d'irrégularités et de prédiction temporelle, suggérant une dissociation entre le ralentissement moteur et les mécanismes de correction d'erreur dans le vieillissement normal (Turgeon et al., 2011). Cette étude montre donc que le maintien du timing et les mécanismes de correction et de prédiction temporelle sont préservés avec l'âge. Dans une seconde étude (Turgeon & Wing, 2012), les mêmes participants réalisaient une tâche de tapping moteur spontané (taper au tempo choisi par le participant) et une tâche de tapping de continuation (synchronisation de phase), qui consistait à continuer de taper au même tempo qu'un beat régulier après l'arrêt du son. Les résultats de la tâche de continuation ont montré que l'âge augmentait la durée moyenne des intervalles entre

les tapes (moyenne des ITIs) et la variabilité de la synchronisation (coefficient de variation, CV calculé en divisant l'écart-type des ITIs par la moyenne des ITIs) dans la tâche de continuation (Turgeon & Wing, 2012). Cet effet de l'âge était observé dans la plupart des tempi examinés sauf pour celui de 750 ms qui semble correspondre au tempo moteur spontané chez les personnes âgées de 75 à 95 ans (données sur base du graphique de régression). Cet effet de l'âge est en cohérence avec les résultats obtenus sur la synchronisation aux beats du métronome chez des personnes âgées (Thompson et al., 2015). Ces résultats mettent en évidence que l'âge affecte non seulement la précision mais aussi la variabilité de la synchronisation dans une tâche de continuation. De plus, les résultats d'une régression sur le tempo moteur spontané et le coefficient de variation du tapping de personnes de différentes tranches d'âge ont révélé que l'âge entraîne un ralentissement du tempo moteur mais aussi une augmentation de la variabilité du tapping.

Dans une autre étude (Sasaki, Masumoto, & Inui, 2011) examinant l'effet de l'âge sur la synchronisation dans une tâche de continuation, il est apparu que les personnes âgées de 70 et 80 ans présentaient une variabilité, mesurée par le CV, plus élevée pendant le moment de maintien de la synchronisation que chez des jeunes adultes de 20 ans. Cependant, les personnes âgées de 60 ans présentaient un CV qui ne se différenciait pas de celui des personnes âgées de 20 ans ainsi que de celui des personnes âgées de 70 et de 80 ans. De plus, le pourcentage de tapes retardées plutôt qu'anticipées par rapport à l'occurrence du beat augmentait de 60 à 80 ans. Ces données rejoignent l'idée que l'âge augmente la variabilité de la synchronisation et réduit la proportion de réponses anticipées (par comparaison aux réponses anticipées). De plus, cette étude semble confirmer que les effets de l'âge sur la synchronisation pourraient apparaître aux alentours de 70 ans.

Le déclin des capacités cognitives avec l'âge pourrait également affecter la synchronisation du tapping. En examinant l'influence d'une tâche de mémoire de travail (distractrice) pendant la synchronisation du tapping en continuation de phase (Krampe, Dumas, Lavrysen, & Rapp, 2010), ces auteurs ont montré que les personnes âgées comme les plus jeunes accéléraient le tapping en condition de double tâche quand le tempo était lent (2100 ms de IOI). Quand le tempo était rapide, cette accélération était toujours présente chez les âgées mais plus chez les jeunes adultes. De plus, cette double tâche entraînait une augmentation de la variabilité de la synchronisation avec le tempo lent uniquement chez les personnes âgées. Ces résultats démontrent que les personnes âgées doivent mobiliser davantage de ressources cognitives pour

faire face à une tâche distractive par comparaison aux jeunes adultes.

Malgré le déclin des capacités de synchronisation et le ralentissement moteur avec l'âge, il semble toutefois que les personnes âgées présentent une préservation des mécanismes de correction et de prédiction temporelle et un maintien d'un tempo comme l'attestent les résultats obtenus dans les études rapportées ci-dessus. Ainsi, bien qu'il y ait influence de l'âge sur le couplage audio-moteur, il semble que les représentations internes du timing soient partiellement préservées avec l'âge.

2.5.1.2. Réponse motrice rythmique induite par la musique

Comme nous l'avons vu, l'âge induit un ralentissement moteur, une réduction de la coordination motrice ainsi qu'une augmentation de la variance des représentations internes du timing. De plus, le déclin cognitif lié à l'âge pourrait exiger une mobilisation encore importante de ressources cognitives dans les tâches de synchronisation. Le couplage audio-moteur devenant moins fonctionnel avec l'âge, il pourrait alors affecter la synchronisation sensorimotrice du tapping au beat de la musique. Cependant, l'influence de l'âge sur l'engagement rythmique se manifesterait-il également avec d'autres mesures que celles de la synchronisation ? L'âge pourrait-il réduire l'engagement induit par la musique de manière générale ?

Peu d'études ont examiné cette question. Selon une étude de Laukka (2006), la musique garde une place importante dans la vie des personnes âgées. Cependant, il est possible que l'influence de l'âge sur le contrôle moteur puisse réduire la réponse motrice à la musique. En effet, une étude comparant la force exercée lors du tapping dans une tâche de continuation de phase montrait que les personnes âgées de 70 et de 80 ans avaient plus de difficultés à contrôler la force de leur tapping par comparaison aux personnes âgées de 20 et de 60 ans (Sasaki et al., 2011).

Cette affaiblissement de la force motrice sur la réponse à la musique s'observe également sur la marche. Selon une récente méta-analyse (Ghai, Ghai, & Effenberg, 2018 pour une revue) rapportant les effets du rythme de la musique sur les paramètres de la marche, les personnes âgées présentent des effets du rythme moins marquants sur la marche que chez de jeunes adultes. Toutefois, le rythme musical entraîne des effets sur l'accélération et allongement des pas tant chez les jeunes que chez les plus âgés justifiant l'utilisation du rythme et du mouvement

dans les activités proposées aux personnes âgées. Tout en étant motivante, la musique renforcerait la vigueur du mouvement. Néanmoins, les changements liés à l'âge dans les circuits fronto-striataux peuvent perturber le contrôle moteur de la marche mais aussi le fonctionnement cognitif (Seidler et al., 2010; Wolpe et al., 2016). Par conséquent, il se pourrait que l'influence du rythme sur le mouvement soit moins importante chez les personnes âgées que chez les plus jeunes.

Bien que la réponse motrice à l'écoute de la musique puisse être influencée par l'âge, elle reste vraisemblablement sensible au rythme musical et à son caractère hédonique. En effet, il a été mis en évidence que la musique, à la différence du métronome, augmentait la vitesse et la longueur des pas chez des personnes âgées ne présentant pas de trouble cognitif (Wittwer, Webster, & Hill, 2013). Les auteurs interprètent ces résultats comme une influence de la motivation et de l'*arousal* induits par la musique alors que le métronome ne présenterait pas les mêmes effets énergisants. Les résultats de cette étude suggèrent donc que l'engagement de la réponse motrice induit par la musique serait plus élevé que celui induit par le métronome dans le vieillissement physiologique 'normal'. Par conséquent, les effets spécifiques de la musique sur la réponse motrice sur base de mesures autres que la synchronisation sont observables dans le vieillissement 'normal'.

2.5.2. Vieillissement pathologique

2.5.2.1. *Capacités de synchronisation : comparaison vieillissement normal et pathologique*

Nous avons vu que l'âge pouvait avoir une influence sur les performances de synchronisation et de manière générale sur le couplage audio-moteur. Cependant, le vieillissement pathologique peut affecter spécifiquement le contrôle moteur dans certaines pathologies neurodégénératives comme la maladie de Parkinson (Jankovic, 2008). La bradykinésie ainsi que les perturbations rythmiques causées par la maladie de Parkinson affectent les réponses motrices et en particulier les performances de synchronisation (Merchant, Luciana, Hooper, Majestic, & Tuite, 2008). Etant donné l'atteinte des ganglions de la base dans la maladie de Parkinson, les patients atteints de cette maladie peuvent présenter des troubles de la perception du beat (Grahn & Brett, 2007). Cependant, l'atteinte des ganglions de la base est très variable dans la maladie et entraînerait donc des performances très hétérogènes dans cette population (Diedrichsen, Ivry, & Pressing,

2003). Les résultats rapportés dans la littérature soulignent une plus grande variabilité de la synchronisation chez les patients présentant une maladie de Parkinson par comparaison aux témoins (Cochen De Cock et al., 2018) et parfois aussi une moins grande précision (Jones et al., 2011). Ces différences se remarqueraient davantage lors de tâches de continuation (de phase) ou de synchronisation de la marche que dans des tâches de synchronisation du tapping car elles mobilisent plus de ressources cognitives. Elles seraient plus marquées lorsque le tempo utilisé s'éloigne du tempo moteur spontané (Jones et al., 2011). Cependant, ces différences entre la performance des patients avec une maladie de Parkinson et les témoins restent faibles dans des tâches de tapping lors de l'écoute de musique et du métronome (Benoit et al., 2014; Dalla Bella et al., 2017). Il se peut toutefois que ces différences soient faibles car ces études concernent des personnes encore relativement jeunes (65 ans). Néanmoins, ces différences s'accroissent avec l'âge et le déclin cognitif de manière plus prononcée chez les patients que chez les témoins.

Dans la maladie d'Alzheimer, il a été rapporté récemment que l'avancée de la maladie pourrait affecter les fonctions motrices (Albers et al., 2015), en plus des fonctions instrumentales impliquées dans les activités quotidiennes (Yan, Rountree, Massman, Doody, & Li, 2008; de Paula et al., 2016). Par exemple, les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer présentent des temps de réaction plus longs dans une tâche de tapping par comparaison à des personnes n'ayant pas de trouble cognitif (Gorus, De Raedt, Lambert, Lemper, & Mets, 2008). De plus, les temps de réaction des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer avec troubles des fonctions instrumentales étaient plus longs que ceux des personnes sans troubles de ces fonctions (*mild cognitive impairment*, MCI). Par conséquent, la maladie d'Alzheimer mais aussi la sévérité de la maladie (déclin moteur et cognitif) pourraient avoir un impact sur la réponse motrice, en particulier au niveau du ralentissement moteur. Ce ralentissement est d'ailleurs retrouvé dans la marche. Une étude a mis en évidence que le déclin cognitif en particulier des fonctions exécutives est liée au ralentissement de la marche dans la maladie d'Alzheimer et dans la démence vasculaire (Verghese, Wang, Lipton, Holtzer, & Xue, 2007). Il semble donc que le déclin moteur et cognitif induit par la maladie augmente le ralentissement moteur.

Le tapping moteur spontané avec le doigt a également été examiné dans cette population clinique. Les résultats ont mis en évidence un ralentissement moteur du tempo spontané chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer (MMSE \leq 23; Folstein et al., 1975) par

comparaison à des participants avec peu ou pas de troubles cognitifs (MMSE > 23) (Rabinowitz & Lavner, 2014). Les personnes atteintes de la maladie (âgées de 61 à 97 ans) présentaient un tempo moyen spontané de 747 ms alors qu'un tempo de 581 ms était trouvé pour les personnes avec peu ou pas de troubles cognitifs. De plus, les auteurs ont rapporté que le temps de contact du doigt sur la table lors du tapping était non seulement plus long mais aussi plus variable chez les personnes avec troubles cognitifs, ces scores étant corrélés avec ceux obtenus au *Digit Span* (mémoire de travail et attention). Par conséquent, ces résultats suggèrent que le déclin cognitif associé à la maladie d'Alzheimer contribue à ralentir également le tapping moteur spontané. Les tempi observés dans cette étude chez les contrôles divergent cependant de ceux trouvés dans l'étude de McAuley et collaborateurs (2006). Cette étude incluait un nombre de participants contrôles (N = 66 dans Rabinowitz & Lavner, 2014) plus élevé que dans l'étude précédente (N = 21 dans McAuley et al., 2006). Cependant, l'étendue des tranches d'âge des groupes de participants est différente entre ces deux études (de 61 à 97 ans dans l'une et 75 ans et + dans l'autre). Ainsi, il semble que la variabilité inter-individuelle sur cette tâche est très élevée dans la population expliquant ainsi la différence de tempo trouvée dans des études présentant moins de participants.

Plus récemment (Roalf et al., 2018), les performances à une tâche de tapping moteur spontané du doigt consistant à taper le plus vite possible ont été comparées chez des personnes avec une maladie d'Alzheimer, avec une maladie de Parkinson, avec un déclin cognitif léger (MCI) et sans trouble cognitif. Les résultats ont montré que les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer et ceux avec un déclin cognitif léger présentaient un tempo (moyenne des ITIs) plus lent (environ 250 ms) que les participants contrôles (environ 220 ms) mais aussi plus lent que les personnes avec maladie de Parkinson (environ 220 ms). Cependant, la variabilité du tapping était plus élevée chez les participants avec une maladie de Parkinson que chez ceux avec une maladie d'Alzheimer et que chez les MCI, bien qu'elle était plus élevée chez les participants avec une maladie d'Alzheimer que chez les contrôles. Enfin, la variabilité du tapping était corrélée au score MMSE tant chez les personnes avec la maladie d'Alzheimer que chez les personnes avec peu ou pas de troubles cognitifs. Ces résultats suggèrent l'existence d'un lien entre le déclin cognitif dans la maladie d'Alzheimer et la variabilité du tapping. Il semble donc que les effets de la maladie d'Alzheimer sur la réponse motrice et en particulier sur le tapping s'expliquent par le déclin cognitif et moteur. Notamment, les capacités de mémoire de travail et d'attention pourraient influencer les performances motrices (Rabinowitz & Lavner, 2014). Cependant, il n'est pas clair si la maladie d'Alzheimer perturbe les

représentations du timing par comparaison au vieillissement physiologique.

Peu d'études ont examiné les conséquences de la maladie d'Alzheimer sur les représentations du timing à travers la synchronisation du tapping. Une première étude (Duchek, Balota, & Ferraro, 1994) n'a pas réussi à mettre en évidence de différence au niveau du tapping dans une tâche de continuation entre des groupes de personnes âgées atteintes d'une maladie d'Alzheimer ou maladies apparentées (stades légers à modérés), de personnes avec un déclin cognitif léger (MCI) et de contrôles (d'environ 80 ans). Seul un effet marginal de la variabilité des représentations du timing a été observé. De plus, aucune corrélation n'a été trouvée entre les scores aux tests cognitifs et les performances de synchronisation. Les résultats de cette 1^{ère} étude n'apportent donc aucun élément en faveur d'un trouble de synchronisation associé à la maladie d'Alzheimer.

Dans une autre étude (Bangert & Balota, 2012), la synchronisation-continuation du tapping à différents tempi (500, 1000 et 1500 ms) a été comparée entre des personnes âgées atteintes de la maladie d'Alzheimer (stades légers), des personnes âgées avec peu (MCI) ou pas de troubles cognitifs (contrôles) et des jeunes adultes. Les résultats ont montré que les scores des personnes âgées avec peu de troubles cognitifs (MCI) étaient moins précis (mesure d'asynchronie absolue) et plus variables (coefficient de variation) que ceux des personnes âgées sans trouble cognitif, eux-mêmes moins précis et plus variables que ceux des plus jeunes. Néanmoins, ces différences ont seulement été trouvées dans les tempi lents. Enfin, un effet de la sévérité de la maladie a été observé sur la précision dans les tempi lents et sur la variabilité de la synchronisation dans l'ensemble des tempi. Cependant, ces résultats doivent être interprétés avec prudence étant donné que les patients présentant une maladie d'Alzheimer et les patients MCI se différencient non seulement par leur fonctionnement cognitif mais également par l'âge. Alors que l'effet de l'âge et peut-être aussi du déclin cognitif sur la précision du tapping était principalement visible avec les tempi très lents, nécessitant un effort cognitif plus soutenu, l'influence des troubles cognitifs sur la variabilité de la réponse était observée dès les tempi modérés (IOI de 500 ms). Cette augmentation de la variabilité en présence d'une maladie d'Alzheimer pourrait suggérer une perturbation des représentations internes du timing, qui mériterait d'être confirmée dans le futur avec des groupes mieux appareillés.

Les performances de tempo moteur spontané et de synchronisation du tapping à des stimuli visuels dans une tâche de continuation de phase ont été examinées dans une autre étude récente

(Martin, Blais, Albaret, Pariente, & Tallet, 2017) en comparant des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer (score MMSE moyen de 18,6) et des participants contrôles (score MMSE moyen de 28,7) du même âge (67 ans en moyenne). Les auteurs adaptaient le tempo de la tâche de synchronisation-continuation en fonction du tempo moteur spontané du participant. La tâche de synchronisation-continuation était réalisée en mode unimanuel (synchronisation de phase) et bimanuel (synchronisation des deux mains en même temps correspondant à synchronisation de phase et synchronisation en alternance des deux mains associée à une synchronisation d'anti-phase). Les résultats de l'étude ont révélé que le tempo moteur spontané ne différait pas significativement entre les groupes (tempo moyen des personnes avec MA = 935 ± 381 ms et contrôles = 820 ± 237 ms). Dans la tâche de synchronisation-continuation unimanuelle, il n'y avait de différence d'asynchronies entre les deux groupes. Cependant, la stabilité du tempo était plus élevée dans le groupe contrôle que chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. Dans la tâche bimanuelle, la synchronisation était mesurée par des fonctions circulaires où l'angle du vecteur (entre le stimulus et la tappe du participant) correspondait à la précision de la synchronisation et la longueur du vecteur (distribution des angles) à la constance de la synchronisation. Les résultats à cette tâche bimanuelle ont révélé une constance plus basse (plus variable) chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer que chez les contrôles dans la synchronisation de phase et d'anti-phase. Néanmoins, ces différences étaient moins prononcées dans la synchronisation de phase que d'anti-phase. La précision était également plus basse chez les patients que chez les contrôles dans la synchronisation d'anti-phase. Cependant, il n'y avait pas de différence dans la synchronisation de phase. Les résultats de cette étude ont mis en évidence que plus la tâche de tapping est complexe, plus la différence entre les groupes augmente. La constance de la synchronisation avec une séquence visuelle semble particulièrement altérée par la maladie d'Alzheimer quand la tâche devient plus complexe. Ces résultats suggèrent donc que le déclin cognitif et moteur dans la maladie d'Alzheimer altère le contrôle moteur et les représentations du timing dans des tâches complexes de synchronisation mais pas le tempo moteur spontané en opposition à de résultats précédents (Rabinowitz et al., 2014). Cependant, ces données sont à interpréter avec prudence étant donné un échantillon de participants fort réduit (9 personnes avec MA et 12 contrôles). Par conséquent, davantage de recherches devraient être réalisées afin de mieux comprendre l'impact de la maladie sur la synchronisation, notamment dans le domaine auditif.

En résumé, nous avons peu ou pas de connaissance sur l'effet de la maladie d'Alzheimer sur la synchronisation au beat lors de l'écoute musicale. Seule la réponse motrice synchronisée au

beat du métronome a été étudiée. Les données publiées suggèrent une augmentation de la variabilité de la synchronisation du tapping dans la maladie d'Alzheimer (Bangert & Balota, 2012; Martin et al., 2017). Cette augmentation de la variabilité de la synchronisation s'expliquerait par une atteinte du contrôle moteur et peut-être aussi par le déclin cognitif (Bangert & Balota, 2012; Martin et al., 2017), voire même par une perturbation des représentations internes du timing (Duchek et al., 1994). Cependant, les études rapportant ces résultats utilisaient soit une tâche de synchronisation à des stimuli visuels (Martin et al., 2017), soit une tâche de synchronisation au beat de type continuation de phase généralement analysée durant la continuation (Duchek et al., 1994; Bangert & Balota, 2012). Or, les tâches de continuation ou de synchronisation au beat ne présentent pas les mêmes niveaux de complexité et la synchronisation à des stimuli visuels et auditifs ne sont pas nécessairement comparables (Repp, 2005; Repp & Su, 2013 pour une revue). De plus, ces études n'incluent pas de personnes à des stades modérés à avancés de la maladie ou la taille des échantillons est limitée. Enfin, aucune de ces études n'a examiné la synchronisation au beat dans une séquence musicale. Par conséquent, nous ne savons pas si l'augmentation de la variabilité de la synchronisation avec la maladie d'Alzheimer pourrait s'accroître ou au contraire diminuer avec la musique par comparaison au métronome.

Les résultats de certaines études analysant des tâches de tapping spontané (Rabinowitz & Lavner, 2014; Roalf et al., 2018) s'ajoutent aux études sur la synchronisation pour mettre en évidence l'augmentation de la variabilité de la réponse motrice avec la maladie d'Alzheimer. Ces études suggèrent d'ailleurs que le déclin moteur et cognitif dans la maladie d'Alzheimer pourrait influencer la réponse motrice et notamment les performances de synchronisation. Bien qu'une altération du contrôle moteur et des représentations du timing est suggérée dans la maladie d'Alzheimer par rapport au vieillissement physiologique 'normal' (Duchek et al., 1994; Bangert & Balota, 2012; Rabinowitz & Lavner, 2014; Martin et al., 2017; Roalf et al., 2018), l'hypothèse demande davantage de recherche. Enfin, quelques études suggèrent un lien entre le déclin de fonctions cognitives spécifiques comme la mémoire de travail et l'attention et la variabilité de la réponse motrice (Rabinowitz & Lavner, 2014). Par conséquent, les performances de synchronisation au beat tant lors de l'écoute du métronome que de la musique chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer devraient être analysées en lien avec les scores aux tests cognitifs.

2.5.2.2. *Engagement de la réponse motrice induit par la musique*

Après avoir décrit la synchronisation du tapping au beat dans la maladie d'Alzheimer et maladies apparentées, nous allons aborder le comportement de synchronisation comme forme d'engagement rythmique et social à la musique. Dans ce contexte, Leman (2007) propose que les mouvements produits par l'auditeur lors de l'écoute musicale seraient le reflet de ceux du musicien. Ce phénomène correspondrait à la résonance motrice dans laquelle l'auditeur simulerait les mouvements du musicien. Ainsi, la synchronisation serait réalisée non seulement en référence au rythme de la musique mais aussi aux mouvements produits par le musicien. Cette simulation, engendrant des attentions temporelles et motrices, générerait un accès aux émotions du musicien par résonance perceptive. Cette simulation pourrait également avoir lieu sans présence du musicien, juste en se reposant sur la modalité auditive (Leman, Desmet, Styns, van Noorden, & Moelants, 2009). Un lien pourrait donc être trouvé entre le couplage audio-moteur des mouvements au rythme de la musique et les émotions, en partie grâce au musicien. La question de l'influence de la présence du musicien sur l'engagement des réponses synchronisées ou non des auditeurs a fait l'objet de plusieurs études chez des personnes atteintes de maladies neurodégénératives comme la maladie d'Alzheimer (Sherratt, Thornton, & Hatton, 2004; Holmes, Knights, Dean, Hodkinson, & Hopkins, 2006; Lesaffre, Moens, & Desmet, 2017). Ces études sont décrites dans la section 2.6. Is music special for people with dementia ? .

2.6. Is music special for people with dementia?

Matthieu Ghilain¹, Loris Schiaratura¹, Ph.D., Ashmita Singh^{1,4}, Micheline Lesaffre², Ph.D., and Séverine Samson^{*1,3}, Ph.D.

¹ Equipe Neuropsychologie: Audition, Cognition, Action, Laboratoire PSITEC EA 4072, UFR de Psychologie, Université de Lille, Pont de Bois, Lille, France

² IPEM, Department of Arts, Music and Theater Sciences, Ghent University, Belgium

³ AP-HP, GH Pitié-Salpêtrière- Charles Foix, Paris, France

⁴ The Brain and Mind Institute, Western University, London, Ontario, Canada.

Chapitre publié dans l'ouvrage intitulé « Music and Dementia : From Cognition to Therapy » édité par A. Baird, S. M. Garrido, et J. Tamplin (octobre 2019)

Abstract. Multitudes of studies support that musical interventions in people with dementia positively affect various domains of their well-being—emotional, cognitive, and behavioral—and also reduce the distress of caregivers. However, the mechanisms underlying these effects remain unclear. This chapter proposes that rhythmic entrainment induced by listening to music, including movements synchronized with musical rhythms, might contribute to the efficacy of music-based interventions for people living with dementia. After reviewing the influence of rhythmic entrainment on motor, cognition, emotion, and social functioning, evidence obtained in dementia research is provided to support this hypothesis. Actions aligned to rhythmic sounds can be modulated by the presence of a partner, and more generally by the social environment, suggesting a link between synchronization to musical rhythm and interpersonal coordination. Finally, a method to measure rhythmic entrainment in people with dementia is presented for use in future researches to increase the intervention efficacy in pathological aging.

Keywords: dementia, rhythmic entrainment, synchronization, musical beat, social interaction, motor system, cognition, emotion, nonverbal communication

Introduction

A growing number of aged care facilities offer musical interventions for people with dementia in order to soothe them and improve well-being. Not only are these interventions pleasure inducing for the patients, even in the severe stage (Zentner, Grandjean, & Scherer, 2008), but they also appear to have a positive impact on the distress of caregivers (Narme et al., 2014; Särkämö et al., 2014, 2016). Altogether, the field of musical interventions in dementia care has yielded a lot of valuable knowledge in several domains such as behavior, emotion, and cognition (for further discussion, see also Särkämö's and Lipe & Edmonston's chapters in this book).

Nonetheless, as noted in a recent meta-analysis (van der Steen et al., 2017), the scientific validity of present-day literature is often a point of debate, and indeed results should be interpreted prudently. The size of the effects remains modest and the potency of these treatments vary considerably between individuals, the reason for which is currently unknown. Moreover, the magnitude of the effects is often exacerbated by numerous methodological biases, such as the small number of participants, the lack of blind assessment, and the absence of nonmusic or another intervention to control for change due to patients' stimulation (Samson, Clément, Narme, Schiaratura, & Ehrlé, 2015). Other factors related to the specific characteristics of music, such as the style and familiarity of the musical excerpts, tempo, and meter, could also influence results, but at present little is known about the impact of these variables on the effectiveness of musical support. The causes behind different effects observed after receptive and participatory musical interventions are also currently difficult to pinpoint. Overall, many variables manipulated during investigations are not bound by universal standards, making generalizations across studies, as well as populations, difficult, if not impossible. Therefore, further research is necessary: not simply focusing on musical interventions but also towards answering basic science questions of how humans internalize, experience, and produce music. This will enhance knowledge about the mechanisms behind observed effects, since these are not yet understood. One such foundational phenomenon is the ability to progressively move in synchrony with an environmental system. Known as rhythmic entrainment, this mechanism is very relevant to the topic of musical interventions, particularly for dementia.

In this chapter, we will focus on rhythmic entrainment, including synchronization to music. An overview on the impact of musical rhythms on various domains (motor, cognition, emotion,

and social functioning) will be proposed and followed by a presentation of the effect of music listening on the motor responses of people living with dementia. Studies that have investigated how social interaction modulates the rhythmic entrainment will also be discussed. Ultimately, some recent perspectives for assessing the therapeutic benefits of music will be examined.

Rhythmic Entrainment

Rhythmic entrainment is defined as the progressive change towards synchronization between two physical or biological systems that interact with each other. It includes the perfect synchronization of period (cycles of the two systems having the same duration) and must be in-phase (rhythmic events of the same period occurring at the same time). Rhythmic entrainment is the process of reaching this state of synchronization due to the changes in two dynamical systems as they interact with each other, rather than the simple existence of phase locking and period synchronization between two things (Clayton, Sager, & Will, 2005; Leman, Buhmann, & Van Dyck, 2017; Trost, Labbé, & Grandjean, 2017). Music listening frequently encourages people to move or clap their hands (Drake, Penel, & Bigand, 2000). These responses to the rhythm of an environmental stimulus illustrate the phenomenon of rhythmic entrainment and have also been observed among people with dementia (Holmes, Knights, Dean, Hodkinson, & Hopkins, 2006; Lesaffre, Moens, & Desmet, 2017; Sherratt, Thornton, & Hatton, 2004). Several lines of evidence suggest that rhythmic entrainment induced by listening to music seems to modulate not only the motor system, but also cognitive, emotional, autonomic, and social functioning.

The influence of musical rhythms on motor responses and in particular on sensorimotor synchronization (SMS) is well known (Leman et al., 2017; Repp, 2005; Repp & Su, 2013; Zatorre, Chen, & Penhune, 2007). SMS to music corresponds to the coordination of movement at the occurrence of the beat of music (Repp, 2005). In this context, the perception of beats organized according to a well-established hierarchy, notably by metrics induced by music, prepares the motor system to respond (Grahn & Brett, 2007). Several brain areas are involved in this process: the basal ganglia play a role in the processing of rhythm and motor control (Grahn, 2009; Grahn & Rowe, 2009; Nombela, Hughes, Owen, & Grahn, 2013), while the cerebellum and supplementary motor area participate in coordinating to musical rhythm (Chen, Penhune, & Zatorre, 2008). According to Jones' Dynamics Attending Theory (1987), when we listen to music, we detect the organization of music beats through the repetition of metric structure, perceptual accents, and rhythm integer ratios. The perception of such repetitions

generates neural synchronies relating to temporal expectations between the auditory and motor systems (Coull, Cheng, & Meck, 2011; Nozaradan, Peretz, Missal, & Mouraux, 2011). These neural synchronies in the primary sensorimotor, pre-motor, and supplementary motor areas lead to audio-motor coupling (Chen et al., 2008), which is required for the perception and integration of sensorimotor information necessary for the production of coordinated movements in time with the musical beat.

The motor and sensorimotor regions involved in synchronization to music also seem to play a role in cognition. Interactions between the supplementary motor area and the putamen are related to both motor performance and executive functions (Marchand et al., 2013). Moreover, the cerebellum, involved in precision coordination, is also involved in processes related to executive and attentional functions (Baillieux, Smet, Paquier, De Deyn, & Mariën, 2008). SMS, by stimulating the aforementioned brain networks, could inadvertently also modulate cognitive functioning. Therefore, questions about possible links between music synchronization and cognitive functioning in dementia appear to be warranted.

Other studies have demonstrated that the rhythm of music influences emotions. Music played at a fast tempo is often perceived as more cheerful and stimulating than music played at a slow tempo (Husain, Thompson, & Schellenberg, 2002; Khalfa, Roy, Rainville, Dalla Bella, & Peretz, 2008). Listening to music also provides pleasure, as many studies have shown (Blood & Zatorre, 2001; Salimpoor, Benovoy, Larcher, Dagher, & Zatorre, 2011; Salimpoor, Zald, Zatorre, Dagher, & McIntosh, 2015; Zatorre, 2015). This same sensation of pleasure can be found in dance (Bernardi, Bellemare-Pepin, & Peretz, 2017), which requires SMS based on the coupling between the auditory and motor systems (Janata, Tomic, & Haberman, 2012). The stimulation of the vestibular system and the connections it maintains with the limbic system could mediate emotional responses (Trost et al., 2017).

Another hypothesis, not exclusive to the previous one, to explain the impact of musical rhythm on emotions is based on the concept of temporal expectations induced by musical listening. Musical structure including but not limited to beat, meter, and rhythm, makes it possible to predict the appearance of events. These anticipatory mechanisms may also trigger neurophysiological events associated with the feeling of pleasure. As neuroimaging studies have shown, the dorsal striatum may be activated in this phase of pleasure anticipation, accompanied by the release of dopamine, while the ventral striatum is activated during the musical pleasure peak experience (Salimpoor et al., 2011). At this peak, the release of dopamine occurs in the ventral striatum. These physiological responses in the striatum participate in the

fronto-striatal network which appears to modulate emotional state and motivation, as evidenced by a recent study of brain imaging coupled with transcranial magnetic stimulation (Mas-Herrero, Dagher, & Zatorre, 2018). Given these results, we suggest that there is a link between the rhythmic entrainment and emotional process that could explain, at least in part, the impact of musical interventions on the emotional state of people living with dementia.

Music can also modify the actions of the autonomic system. Musical listening modulates autonomic rhythms, such as respiratory cycles (Khalfa et al., 2008) and heart rate (Hodges, 2011) and synchronizes them to musical rhythms (Bernardi et al., 2009). Codrons, Bernardi, Vandoni, and Bernardi (2014) observed spontaneous synchronization of respiration to the beat during group musical activities with healthy adults. Their results show that the degree of synchronization coherence is higher during musical sequences than in metronomic sequences, indicating that music has a greater influence on the autonomic system. Khalifa and colleagues (2008) have demonstrated that, in young adults, the changes in skin conductance responses, facial muscle activity, and blood pressure increase more when listening to cheerful music (fast tempo and major mode) than when listening to sad music (slow tempo and minor mode). Overall, there is enough evidence to conclude that music can influence certain autonomic rhythms and that the intensity of the influence may be modulated by the specific properties of the auditory stimulus (like tempo, mode, and whether it is music or metronome cues). To inform current interventions for people with dementia, further investigation of the effects of rhythmic entrainment to endogenous rhythms (and the psycho-physiological responses that follow), particularly in relation to the properties of musical sequences, is needed.

Finally, rhythmic entrainment can also modulate social functioning. It has been shown that interpersonal coordination produced by collectively listening to music can encourage the emergence of social cooperation (Wiltermuth & Heath, 2009). Similarly, synchronizing movements to music during dance can promote empathy (Koehne, Behrends, Fairhurst, & Dziobek, 2016), at least in healthy subjects. By causing individuals to coordinate together to the rhythm of music, it facilitates communication and the expression of social behaviors (Cross & Morley, 2008). This effect may be particularly beneficial for people with dementia as suggested by Cason, Schiaratura, and Samson (2017). Since language disorders are frequently observed in many types of dementia (Cummings et al., 1985) and can lead to communication difficulties, exacerbated by sensory decline associated with aging (Kamil & Lin, 2015), social isolation increases and significantly reduces the quality of life of people with a diagnosis (Klimova, Maresova, Valis, Hort, & Kuca, 2015). By stimulating the coordination of

movements and interpersonal entrainment, musical interventions could promote social cohesion and nonverbal expression for people with dementia and facilitate communication, especially when these interventions are conducted collectively. This idea found support in a randomized controlled study carried out in early dementia (Särkämö et al., 2014). The reduction of caregivers' emotional burden reported after regular music-based intervention (singing or music listening during everyday care), was even more evident when the caregiver participated in musical activities with the patient. By strengthening social interactions between patient and caregiver, the benefits of these musical interventions on caregiver distress become more prominent (for further discussion, see also Tamplin and Clark's chapter in this book). Such effects resulting from interpersonal coordination as well as rhythmic entrainments induced by music might be particularly relevant to improve the social relationships between the patients and their medical or family caregivers.

As mentioned above, many studies suggest that rhythmic entrainment, by promoting interactions between an individual and their musical environment, will impact the motor, cognitive, emotional, autonomic, and social systems. Further investigation of possible links between rhythmic entrainment during musical interventions and these different systems will be relevant in planning activities and aid in better understanding the therapeutic effects of current musical interventions in dementia care.

Effect of Music on Motor Responses in People With Dementia

Few studies provide solid arguments in favor of rhythmic entrainment during musical interventions for people with dementia. Nevertheless, it has been reported numerous times that even in advanced stages of the disease, people move to the rhythm of music spontaneously (Holmes et al., 2006; Lesaffre et al., 2017; Sherratt et al., 2004) or intentionally (Ghilain et al., in preparation). This suggests that the musical environment facilitates the rhythmic entrainment of people with dementia. This act of rhythmically entraining and in particular SMS to music might elicit pleasure, but this is yet to be confirmed in this population. The social environment linked to the presence of other people (musicians or not) could also facilitate this rhythmic entrainment. Among the studies reported in literature, the influence of social context and interpersonal coordination on motor responses has attracted the attention of researchers. Few authors have attempted to answer this question in relation to dementia specifically by measuring the frequency and duration of motor responses and their engagement to music (Sherratt et al.,

2004) or the overall body movements (Holmes et al., 2006; Lesaffre et al., 2017), along with hand movements (Ghilain et al., in preparation) in response to music. The design and results of these experiments will be discussed in detail in the sections to come.

Frequency and Duration of Motor Responses and Engagement to Music

In an initial study, Sherratt and collaborators (2004) compared the spontaneous responses (including rhythmic movements) of people with dementia ($n = 24$) to familiar songs under four listening conditions: the first condition was performed in the presence of a musician singing in front of the patients; the second was a prerecorded auditory version of singing from the musician who was not physically present; the third was the original (commercial) auditory recording; and the last was a silent condition without music or singer. The task took place in a common space where participants were free to interact with others (patients, caregivers). Two observers independently identified specific responses to music (singing, whistling/humming, and movements in response to music, such as clapping) and other actions not related to music (nonrhythmic movements); well-being behaviors (assessed in five categories from extreme ill-being to extreme well-being); interaction with others; and passive (e.g., sleeping) or symptomatic behaviors (e.g., wandering, perseveration, individually defined behaviors like moving furniture), based on a pre-established decoding method (Kitwood, 1997). These different behaviors, which can be associated with nonverbal communication indices, were analyzed in terms of duration (percentage of the time the behavior took place in relation to the total duration of observation) and frequency (number of repetitions of the behavior during the total duration period). According to the results, the duration of the movements produced in response to the music, as well as the duration of the well-being ratings of people with dementia, were significantly higher in the singer's presence compared with the audio recording (no musician present) and the silent condition. On the other hand, interactions with other people were more frequent in the singer's absence (auditory recordings), suggesting that people with dementia seek to share their musical experience and socialize with other individuals when the singer is not present.

In a similar study, Holmes and colleagues (2006) also used a behavioral index coding method to compare the quality of engagement in people with dementia ($n = 32$) under the same conditions (a musician-present condition, a prerecorded condition of the same musician, and a silent condition) as above. Engagement measurement was rated on a six-point Likert scale ranging from a high level of engagement and self-expression (associated with high well-being),

to apathy, rage, or despair (associated with extreme ill-being). The results showed that the percentage of people with dementia showing positive engagement was higher in the presence of a musician than in the silent condition. However, the ratings during the recorded condition did not differ from the silent condition. Interestingly, positive engagement during musical interventions was higher in the presence of musicians than in the recorded condition, but this was only evident in people with severe dementia. These results align with the study by Sherratt and colleagues (2004) and highlight the importance of social interaction in spontaneous motor responses to music by people living with dementia.

Overall Body Movement

Lesaffre and collaborators (2017) examined spontaneous movements (including synchronization movements) in response to music by people with dementia ($n = 32$). As in the two previous studies, the authors' objective was to verify the impact of a singer's presence on the participants' behavior, but their dependent measure was different. In this case, the authors used a special experimental device developed at the University of Ghent called the "Music Balance Board." Composed of a chair placed on a board equipped with motion sensors, this device offers the possibility of recording the movements produced naturally in response to the music. It enables the calculation of an overall motor score (Quantity of Motion, QOM) estimated from the variations in weight exerted on the board during the person's movements. Four participants with dementia were recorded simultaneously while listening to popular songs and excerpts of classical music performed by a musician (singing in front of them) or through a prerecorded audio version sung by the same musician (who was not physically present). The results showed that the patients' movement score (QOM) was higher in the presence of the musician than in their absence. The impact of the social context complements the results previously reported (Holmes et al., 2006; Sherratt et al., 2004).

It is imperative to acknowledge that the experimental conditions (live and prerecorded) of these studies are not perfectly comparable. They differ not only in the presence or absence of a musician, but also in the number of sensory modalities engaged. The presence of the musician is a multimodal (audio-visual) condition, whereas the prerecorded condition is limited in this case to a unimodal (auditory) condition. Therefore, on the basis of this data, it is not possible to confirm the influence of social context on spontaneous movements and expressiveness of people with dementia in response to music. Ultimately, these different measures provide information on the production and intensity of movements in response to the music without

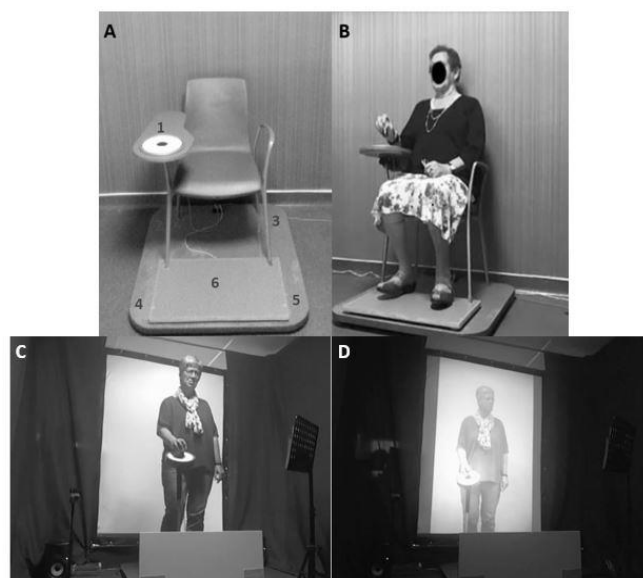
indicating whether these motor responses are synchronized or not to the rhythm of the music. It is therefore necessary to investigate this line of research while maintaining a context of entrainment by utilizing more precise tools to measure sensorimotor activity.

Accuracy and Consistency of Hand Movement Synchronization

The sensorimotor synchronization (SMS) response to music can be measured by asking participants to tap to the beat of the rhythm on a tablet with their hand or finger. This enables rigorous measurement of synchronization in terms of precision and consistency (the opposite of variability) of the finger/hand tapping. This measure provides an indicator of an individual's rhythmic entrainment with the environment. To date, most research has compared SMS to metronome cues and music in healthy adults (Repp & Su, 2013) and people with Parkinson's disease (Bégel, Verga, Benoit, Kotz, & Dalla Bella, 2018; Benoit et al., 2014; Dalla Bella, Dotov, Bardy, & Cochen de Cock, 2018; Merchant, Luciana, Hooper, Majestic, & Tuite, 2008). To the best of our knowledge, there are no published data regarding SMS to music among people living with dementia.

Continuing the work of Lesaffre and collaborators (2017), we also used a Music Balance Board that has been improved to measure sensorimotor synchronization through an additional motion sensor and the use of a video camera (**Figure 1**). A tablet placed on the armrest of the chair and connected to a motion sensor makes it possible to record the participant's tapping to music or metronome cues (as described by Desmet, Lesaffre, Six, Ehrlé, & Samson, 2017). Using a large screen to project a life-size audio-visual recording of a musical performance (for the prerecorded condition) allows for the comparison of SMS in the presence or absence of a musician.

Figure 1. Illustration of the experimental setup. **(A)** depicts the different sensors: the sensor 1 detects the taps of the hand and the overall body movements are caught by the other sensors (from 2 to 6). **(B)** A participant taps and moves naturally in response to rhythmic sequences. **(C)** A live partner who taps and moves naturally in response to rhythmic sequences. **(D)** A screen with an audio-visual recording of the partner.



The current study, carried out in Belgium (Woon- en Zorgcentrum Home Sint-Franciscus in Kluisbergen) with 26 participants with a diagnosis of dementia (Alzheimer's disease, vascular or mixed dementia), has assessed the feasibility of this tool (Ghilain et al., in preparation). Fine synchronization measurements (accuracy and consistency) of responses were collected under four experimental conditions where patients were asked to synchronize hand movements with rhythmic sequences (metronomic or musical) in front of a singer who performed the task with them, or with the audio-visual recordings (AV) without the presence of the singer. The results showed that SMS to metronome cues is more accurate and more consistent (less variable) than SMS to music, which is in agreement with data obtained in Parkinson's disease patients (Bégel et al., 2018, Benoit et al., 2014). As music presents a less salient metric than that of a metronome (Rodger & Craig, 2016), the difference between SMS to metronome cues and to music performance can probably be explained by the greater facility to anticipate the beat in a metronome rather than in a musical sequence.

In addition, the analyses revealed an interaction between the rhythmic sequence environment and the social environment on SMS. SMS to metronome cues was more accurate and more consistent during the AV recording than when the singer was present, which was not the case for SMS to music, SMS to music being more accurate and more consistent in the singer's actual presence than with the AV recording. Therefore, it seems that the influence of the social environment varies according to the rhythmic environment. The presence of the singer improves the accuracy and consistency of synchronization to music for people with dementia, but the reverse pattern is observed for SMS with the metronome. SMS with complex rhythmic sequences, such as music, are more attention-intensive than SMS to simpler sequences, such as the metronome (Chapin et al., 2010; Chen et al., 2008). Having more difficulty synchronizing to the music than to metronome, the presence of a live partner involving joint attention (Sebanz, Bekkering, & Knoblich, 2006) as well as the sharing of the coordination intention between the singer and the participant (Tomasello & Carpenter, 2007) might help people with dementia to focus their attention on this more demanding task. The presence of a live partner instead of an AV recording can therefore improve SMS to the music rhythm. Consistent findings have been reported in a study with young musicians that also synchronized more accurately their taps with music in front of a live partner than in front of recorded partner (Demos, Carter, Wanderley, & Palmer, 2017). As suggested by the authors, the bidirectional interactions characterizing the live condition may facilitate synchronization to the music.

Similarly, in our present study, we can suggest that the bidirectional interactions between the singer and the participant, which are not available in the prerecorded condition, may optimize SMS to music by providing additional cues to tap in synchrony with musical rhythm. SMS to metronome, which is simpler but also less attractive than SMS to music, is not improved by the live partner, which decreases the SMS performance. With isochronous and unattractive sequences, people with dementia seem to be distracted rather than stimulated by the social interaction. Taken together, the results of this study demonstrate that rigorous measures of SMS can be recorded in people with dementia yielding a method to study the rhythmic entrainment of individuals with various environments in the clinical population.

According to Leman and collaborators (2017), the expressiveness and motivation to move to the rhythm appears to be unique to music. As previously emphasized, music induces a joint reaction that shows a certain level of nonverbal communication between individuals. The mutual interaction of individuals adds to the driving force of music towards stimulating synchronization. For these reasons, music may facilitate more social interaction and interpersonal coordination than the metronome. Nevertheless, this difference is yet to be demonstrated by formal scientific investigation. Future studies would need to complement SMS measurements with the analysis of nonverbal communication indices of people with dementia.

Conclusion and Perspectives

In a time where pharmacological options for the management of behavioral, psychological, and social symptoms of dementia are expensive, moderately effective, and often accompanied by an array of side effects, nonpharmacological interventions offer a low-risk, easily accessible solution. Many different types of social and pleasure-inducing interventions are available today for people living with dementia, such as cooking, visual art, music, and so forth. As previously explained in this chapter, rhythmic entrainment to music, in the form of SMS, modulates motor responses, cognition pathways, and autonomic functioning; it induces pleasure through mediation of emotional responses and temporal anticipatory mechanisms; and it positively influences interpersonal coordination and social cooperation. Although no studies have directly compared the efficacy of other interventions with music-based interventions that specifically focus on role of entrainment in this population, music may be unique for people with dementia, and reports on therapeutic effects of music in dementia care are already plentiful in literature. As we have seen, music appears to be extensive and quite holistic in its effects and benefits. In

this chapter, we argue that rhythmic entrainment with the musical environment and in particular SMS induced by musical activity could be partly responsible for these effects (Troost et al., 2017).

There are few tools currently available to help confirm this hypothesis in the field of dementia. Various complementary methods have been proposed to evaluate rhythm entrainment in people with dementia. In a multi-modal approach, it would be possible to study the relationship that might exist between the different aspects of motor responses. The interest in this method is justified, since it provides the opportunity to form scientifically valid connections between such SMS measures on one side and emotion, cognition, behavior, or social interactions on the other side. Such methodological developments could also provide researchers and clinicians with additional tools to examine and evaluate the effectiveness of rhythmic entrainment (e.g., SMS) in musical interventions.

Information currently available in the field can already be utilized to better adapt musical interventions for people with dementia, or at the very least be used to guide future investigations. Given the influence of social context on SMS and nonverbal communication responses, collective musical activities will likely have more impact than individual activities in dementia care. Moreover, the involvement of caregivers and activities encouraging patient-caregiver bonding can also be incorporated. A possible way of accomplishing this can be to teach caregivers to provide supplemental home-based music sessions. The development of personalized musical interventions for people living with dementia could be useful, but in order to actualize this, more needs to be known about the specific effects that musical properties and social context have in dementia. Ultimately, there is no doubt that the future holds exciting discoveries and insights to be made in this domain, especially as novel tools and innovative solutions start to be developed and utilized across the world.

Chapitre 3 : Engagement social dans l'action conjointe rythmique

3.1. Introduction

Dans la vie quotidienne, l'interaction sociale implique fréquemment une coordination interpersonnelle entre deux ou plusieurs individus. Cette coordination s'observe lorsque le public applaudit à un concert ou lorsque deux personnes coordonnent leurs pas pour aller à la même vitesse. Cette coordination à un rythme externe ne se présente donc pas seulement lors de l'écoute de musique mais également lors de la perception d'un signal rythmique comme l'observation du mouvement d'une autre personne. Cet *entraînement* interpersonnel ou social au rythme des comportements d'autrui a fait l'objet de plusieurs recherches (McGrath & Kelly, 1986; Clayton, Sager, & Will, 2005; Phillips-Silver, Aktipis, & Bryant, 2010; Repp & Su, 2013; Keller, Novembre, & Hove, 2014). D'après le modèle de McGrath et Kelly (1986), le comportement humain est régulé par des processus rythmiques. Selon ces mêmes auteurs, la rythmicité des comportements fait partie de notre quotidien et serait impliquée dans l'interaction sociale. Chaque individu présente des rythmes endogènes qui peuvent se synchroniser à des signaux rythmiques externes (cf. *dynamic attending theory*, DAT, Jones, 1976). Lors d'une interaction sociale, les individus s'entraînaient mutuellement afin de se synchroniser (par phase et par période) comme dans les activités de sport, de musique ou de danse (McNeill, 1995). Cette aptitude à se laisser porter par un rythme permet aux individus de coordonner temporellement et spatialement leurs comportements grâce à l'intégration des informations sensorielles qu'ils perçoivent (Drake, Penel, et al., 2000; Keller, 2008).

L'*entraînement* des individus induit par les comportements d'autrui conduirait à une forme d'engagement social se traduisant par une augmentation des comportements d'aide et de coopération (van Baaren, Holland, Kawakami, & van Knippenberg, 2004; Valdesolo, Ouyang, & DeSteno, 2010; Fischer-Lokou, Martin, Guéguen, & Lamy, 2011; Cirelli, 2018), des sentiments de proximité, d'affiliation et de compassion vis-à-vis de l'autre (Hove & Risen, 2009; Valdesolo & Desteno, 2011) ainsi qu'une augmentation de la créativité (Stevenson Won, Bailenson, Stathatos, & Dai, 2014), de l'humeur positive et une réduction de l'anxiété (Vicaria & Dickens, 2016 pour une revue).

Cette coordination interpersonnelle est également retrouvée dans le contexte musical. Plusieurs études montrent d'ailleurs que la coordination interpersonnelle de mouvements au rythme de la

musique renforcerait les liens sociaux et les comportements de coopération entre les individus (Wiltermuth & Heath, 2009; Kirschner & Tomasello, 2010; Kokal, Engel, Kirschner, & Keysers, 2011; Stupacher, Maes, Witte, & Wood, 2017; Stupacher, Wood, & Witte, 2017). Il est également suggéré que la musique favoriserait l'*entraînement* social (Phillips-Silver et al., 2010) et faciliterait la coordination interpersonnelle (Stupacher, Wood, et al., 2017). Par conséquent, la coordination interpersonnelle au rythme de la musique serait susceptible d'augmenter l'engagement des individus en réponse à la musique et aux comportements des autres personnes impliquées dans l'activité musicale.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, en entraînant des réponses diverses, la musique pourrait favoriser l'interaction sociale. L'engagement de la réponse synchronisée ainsi que des comportements non verbaux est susceptible d'être influencé tant par la musique que par les comportements des autres personnes pendant une activité musicale réalisée avec plusieurs personnes. Étudier l'influence de cette coordination au rythme de la musique sur l'engagement des comportements synchronisés ou non permettrait de mieux comprendre les mécanismes qui favorisent l'interaction sociale lors des interventions musicales réalisées en groupe dans le contexte des prises en charge non médicamenteuses. Dans ce chapitre, nous proposons de définir le concept de coordination interpersonnelle et d'action conjointe. Ensuite, nous discuterons de l'action conjointe dans un contexte musical avant de présenter les comportements non verbaux de manière générale dans la maladie d'Alzheimer.

3.2. Coordination interpersonnelle et action conjointe

3.2.1. Définition

La coordination interpersonnelle est décrite comme une coordination spatiale et temporelle des comportements lors d'une interaction sociale (Cason, Schiaratura, & Samson, 2017). Cette coordination correspondant à un comportement d'adaptation et de concordance entre les individus s'illustre notamment par l'imitation comportementale et la synchronisation interactionnelle ou interpersonnelle de mouvements rythmiques simultanés (Bernieri & Rosenthal, 1991). La coordination interpersonnelle se traduit par de nombreux comportements tels que les expressions faciales, les gestes, la posture ou encore le contact visuel exprimant notamment les intentions et l'état émotionnel de l'individu (Levenson, Ekman, & Friesen, 1990; Leslie, Johnson-Frey, & Grafton, 2004; Berrol, 2006; Bastiaansen, Thioux, & Keysers, 2009;

Iacoboni, 2009). La coordination des comportements non verbaux est une forme de communication non verbale comme le suggèrent Cason, Schiaratura, et Samson (2017). Plus la coordination interpersonnelle est présente entre les individus, plus elle entraînerait une modulation des liens sociaux (Bernieri & Rosenthal, 1991; Hove & Risen, 2009; Páez, Rimé, Basabe, Wlodarczyk, & Zumeta, 2015). Par conséquent, cette coordination interpersonnelle des comportements non verbaux pourrait être utilisée pour renforcer la cohésion sociale et les sentiments de proximité entre les individus.

L'action conjointe se définit comme une interaction sociale où deux ou plusieurs individus coordonnent leurs actions dans le temps et l'espace dans un but commun (Sebanz, Bekkering, & Knoblich, 2006). Cette action implique une coordination interpersonnelle émergente et planifiée dans laquelle se retrouvent l'imitation comportementale et la synchronisation interactionnelle ou interpersonnelle.

3.2.2. Imitation comportementale et synchronisation interactionnelle

L'imitation comportementale correspond à l'imitation automatique de comportements non verbaux comme les gestes, les postures, les expressions faciales et les mouvements des autres. Elle se produit quand deux ou plusieurs personnes produisent le même comportement presque en même temps (léger décalage qui ne dépasse pas en général 3 à 5 secondes, Chartrand & Lakin, 2013). L'imitation comportementale se produit en général sans intention et sans conscience d'imiter les comportements de l'autre. De plus, elle se réaliserait même avec des inconnus. Ce phénomène est aussi appelé « effet caméléon » parce que les humains, comme les caméléons, modifient leurs comportements pour se fondre dans leur environnement social (Chartrand & Bargh, 1999; Lakin, Jefferis, Cheng, & Chartrand, 2003; Chartrand & Lakin, 2013).

Au contraire du comportement d'imitation qui survient de manière légèrement décalée, la synchronisation interactionnelle consiste à produire des mouvements coordonnés entre les individus dans le temps et l'espace (Sebanz et al., 2006; Vicaria & Dickens, 2016).

L'action conjointe inclut la coordination émergente et la coordination planifiée (Knoblich, Butterfill, & Sebanz, 2011). La coordination émergente correspond à une coordination interpersonnelle spontanée des comportements sans planification des actions et s'observe dans l'imitation comportementale comme dans la synchronisation interactionnelle. Ce type de

coordination apparaît par exemple dans les conversations. La coordination planifiée par contre implique un certain contrôle des actions entre les individus. Elle est mise en évidence par la synchronisation interactionnelle. Cette forme de coordination est souvent retrouvée dans la performance d'un ensemble musical. L'action conjointe tant à travers la coordination émergente (imitation comportementale et synchronisation interactionnelle) que planifiée (synchronisation interactionnelle) se base sur un partage des représentations motrices. Cependant, dans le cas de la coordination émergente, la coordination se base sur un couplage de perception-action alors que la coordination planifiée implique la perception et la prédiction des actions des autres ainsi qu'un partage des représentations des intentions (Sebanz et al., 2006).

Par conséquent, la coordination interpersonnelle émergente et planifiée semblent jouer un rôle important dans les interactions sociales. Alors que la coordination interpersonnelle émergente serait de nature automatique, la coordination planifiée serait contrôlée.

Tant l'imitation comportementale que la synchronisation interpersonnelle peuvent influencer les attitudes et les affects entre les individus impliqués dans une action conjointe. Par exemple, le fait d'être imité augmente les sentiments de sympathie éprouvés envers l'imitateur (Chartrand & Bargh, 1999) ainsi que les attitudes positives à son égard (van Baaren et al., 2004). De même, le degré de synchronisation interpersonnelle durant le tapping de la main renforce le sentiment d'affiliation entre un participant et l'expérimentateur (Hove & Risen, 2009). Ainsi, la coordination interpersonnelle ou l'action conjointe entre les individus peut moduler les attitudes et affects positifs à l'égard d'autrui.

3.2.3. Processus de coordination interpersonnelle : couplage perception-action

La coordination interpersonnelle semble reposer sur les liens qui existent entre la perception et l'action du comportement. Cependant, le couplage perception-action pourrait être relativement automatique dans la coordination émergente alors qu'il serait plus complexe dans la coordination planifiée. Dans la coordination planifiée, Sebanz (2006) postule que l'attention portée sur un même objectif permet aux individus de savoir ce que les autres perçoivent. Dans le milieu expérimental, il s'agirait par exemple de fournir les mêmes consignes aux individus à propos d'une tâche à réaliser ensemble. Grâce à ces consignes, les individus peuvent joindre leur attention sur un même objectif qui permettrait d'initier la coordination de l'action mais aussi de la maintenir face à un obstacle. Ce processus de coordination implique donc le partage

des représentations d'un même objet ou d'un même but. A défaut de ce paramètre, la performance de coordination sera perturbée (Clark & Krych, 2004).

3.2.3.1. *Système des neurones miroirs*

Bien que l'attention conjointe entre les individus permet de percevoir les intentions et les buts des actions des autres personnes, l'observation de l'action pourrait consister en un processus plus direct que l'attention conjointe. Dans la coordination émergente, l'observation de l'action d'une autre personne active la représentation associée à cette action chez l'observateur grâce au « système de neurones miroirs » (Rizzolatti, 2005 pour une revue). Ces neurones s'activeraient à la fois lors de la production d'une action mais aussi lors de l'observation de cette même action réalisée par une autre personne (Rizzolatti & Craighero, 2004). Les neurones miroirs permettent de faire correspondre la perception de l'action et la représentation motrice de celle-ci chez l'observateur favorisant l'imitation comportementale. Lors de la perception d'une action, la personne effectuerait une simulation mentale de l'action motrice qu'elle est en train d'observer (Calvo-Merino, Glaser, Grèzes, Passingham, & Haggard, 2005). Cette simulation aiderait la personne à produire l'action. Ce système faciliterait ainsi le lien entre la perception et l'action. Ce système des neurones miroirs soutient également la « théorie de l'esprit » (*Theory of Mind*, Premack & Woodruff, 1978) suggérant que le système des neurones miroirs servirait à produire une simulation des états mentaux et émotionnels d'autrui (Oberman & Ramachandran, 2007). Cependant, d'autres mécanismes que l'imitation comportementale à travers les neurones miroirs sont nécessaires pour interagir adéquatement avec d'autres individus et prédire leurs actions tout en sachant ce que ceux-ci vont faire (Verfaillie & Daems, 2002).

3.2.3.2. *Prédiction de l'action des autres*

Une prédiction et une anticipation des mouvements d'autrui sur base de l'observation sont fréquents. Par exemple, la direction du regard précéderait les mouvements observés chez une personne déplaçant des objets (Flanagan & Johansson, 2003). Une étude de neuroimagerie a montré également que les mêmes aires motrices cérébrales s'activent quand le participant observe une personne prenant un objet et avant la réalisation de cette action (Kilner, Vargas, Duval, Blakemore, & Sirigu, 2004). Ceci démontre la présence d'une prédiction du mouvement qui activerait les mêmes aires cérébrales que lors de l'observation de celui-ci. Ce résultat

suggère également que la résonance motrice permet la prédiction de l'action en activant les représentations de celle-ci avant qu'elle apparaisse.

Plusieurs études ont démontré que l'anticipation des actions des autres augmente les performances dans une tâche motrice impliquant une action conjointe (Knoblich & Jordan, 2003; Sebanz, Knoblich, & Prinz, 2003; Tsai, Kuo, Jing, Hung, & Tzeng, 2006), notamment grâce au feedback de la réponse du partenaire. Néanmoins, même sans feedback auditif ou visuel, le fait de savoir que le partenaire effectue la même tâche pourrait influencer les performances du participant. De plus, ces études ont également examiné si la présence du partenaire sans co-action modulaient également les performances des participants. Toutefois, cette influence n'a pas été trouvée.

Ces résultats mettent donc en évidence que les participants partagent leurs représentations des actions permettant ainsi la prédiction ou anticipation des actions d'autrui dans la coordination interpersonnelle de mouvements. De plus, ces études montrent que la co-action au contraire de la présence du partenaire sans participation semble influencer les temps de réaction.

3.2.3.3. Interaction sociale et enregistrement du partenaire

D'autres concepts méritent une attention particulière dans la coordination interpersonnelle. Au-delà de la co-action et de la présence de l'autre individu, le feedback fourni par la réponse du partenaire semble parfois moduler les comportements du participant. Cependant, Sebanz et ses collaborateurs (2003) ont montré que l'action conjointe sans feedback pouvait amener à modifier les réponses des participants. Ce dernier résultat soulève certaines interrogations. Si l'absence de feedback pouvait favoriser certaines performances par comparaison à la présence de ce feedback, serait-il possible que l'influence bidirectionnelle (entre les deux partenaires) dans l'action conjointe module différemment la réponse du partenaire par comparaison à une influence unidirectionnelle (juste un partenaire renvoyant l'information à l'autre) ?

Plusieurs études ont abordé cette question en examinant l'action conjointe entre une condition où le partenaire est synchrone ou asynchrone par rapport au participant. La différence entre ces deux conditions est que dans la première, les partenaires sont réactifs l'un par rapport à l'autre, ce qui inclut une influence bidirectionnelle des comportements alors que la seconde condition met en évidence un manque de coopération entre les individus ou une absence de réactivité aux comportements du partenaire. Par exemple, une étude (Hove & Risen, 2009) évaluait le degré d'affiliation entre le participant et l'expérimentateur avant et après une tâche de synchronisation

interpersonnelle. Dans la condition synchrone, les participants synchronisaient leur tapping au beat du métronome avec à leur côté un expérimentateur qui synchronisait son tapping à un autre métronome qui était synchronisé à celui des participants. Dans la condition asynchrone, l'expérimentateur se synchronisait au beat d'un métronome non-synchronisé à celui des participants. Les résultats de cette étude ont révélé qu'après la tâche, les participants appréciaient plus l'expérimentateur quand celui-ci tapait de manière synchrone qu'asynchrone à leur tapping. De plus, une corrélation était trouvée entre les niveaux de sympathie et la précision de la synchronisation interpersonnelle (moyenne des asynchronies entre la tape du participant et de l'expérimentateur) démontrant que plus la synchronisation était précise, plus les participants appréciaient l'expérimentateur. Cette adaptation au comportement de l'autre serait le fruit du couplage entre les individus qui entraînerait une activation motrice et favoriserait la coordination interpersonnelle (Hasson, Ghazanfar, Galantucci, Garrod, & Keysers, 2012).

L'influence bidirectionnelle entre les individus dans une action conjointe ou une interaction sociale repose sur le couplage perception-action comme nous l'avons vu précédemment. Cela implique que la perception de l'action de l'autre et le partage des représentations motrices permettent de prédire et d'anticiper les réponses de l'autre (Sebanz et al., 2006). L'influence bidirectionnelle dans la coordination interpersonnelle se base donc notamment sur la perception auditive et/ou visuelle des actions de l'autre, autrement dit sur un feedback sensoriel. Ainsi, l'individu peut prédire les actions de son partenaire et s'adapter à celui-ci. Dans l'action conjointe, ce feedback permettrait d'aider la coordination interpersonnelle (Knoblich & Jordan, 2003) bien que cela ne soit pas toujours nécessaire (Sebanz et al., 2003). Grâce à ce feedback sensoriel, l'individu serait capable de partager ses intentions et ses représentations de l'action (Sebanz et al., 2006). L'influence bidirectionnelle dans l'interaction sociale conduirait dès lors à un engagement social plus élevé qu'un enregistrement où le partenaire ne réagit pas aux comportements de l'autre.

La comparaison des comportements non verbaux produits dans une situation de face à face et dans une situation pré-enregistrée a été examinée dans plusieurs études. Par exemple, une étude (Gullberg & Holmqvist, 2006) examinait l'attention des participants vers le visage et les gestes produits par un interlocuteur quand celui-ci raconte une histoire dans trois conditions : quand le conteur était en face à face en présence physique, à travers un enregistrement vidéo présenté sur une télévision et à travers un enregistrement vidéo présenté en taille réelle. A l'aide d'un dispositif d'eye-tracking et du décodage d'observateurs indépendants, les résultats ont révélé

que, bien que le temps de regard vers le visage était plus élevé dans le face à face en présence physique que dans les conditions vidéo, cette différence n'était pas significative (temps de regard vers le visage = de 96 à 91% de la condition). Aucune différence n'a été trouvée entre les conditions sur le regard vers les gestes de l'interlocuteur (de 0,5 à 0,2 %). En accord avec une étude antérieure (DePaulo, 1978), ces résultats ont montré que le visage attire beaucoup plus l'attention du participant que les gestes. En effet, le contact visuel dans un face à face serait le signe d'attention, d'intérêt et d'engagement envers l'interlocuteur (Argyle & Cook, 1976). De plus, les résultats de cette étude, par l'absence de différence significative de la fixation du regard vers le visage entre le face à face et les vidéos, ont mis en évidence l'importance du contact visuel même lors d'un face à face dans des conditions pré-enregistrées.

Dans une étude d'imagerie fonctionnelle (Redcay et al., 2010), les auteurs abordaient la question de la différence entre une influence bidirectionnelle et unidirectionnelle de la direction du regard de partenaires sur l'activation cérébrale dans des tâches attentionnelles. Les auteurs comparaient l'activation cérébrale entre une condition d'interaction sociale via vidéo-conférence (influence bidirectionnelle des comportements entre les partenaires) et une condition avec un enregistrement audio-visuel du partenaire (influence unidirectionnelle de l'enregistrement vers le participant). Les participants étaient informés au préalable de l'utilisation de l'enregistrement audio-visuel. La condition d'interaction sociale implique donc une attention conjointe des partenaires alors que dans la condition pré-enregistrée, les deux partenaires mobilisent leur attention de manière indépendante. Les résultats ont montré que la condition d'interaction sociale via vidéo-conférence entraînait une activité plus élevée des aires cérébrales impliquées dans la cognition sociale, l'attention et la récompense que dans la condition pré-enregistrée. Ces données suggèrent que l'interaction sociale offre une meilleure pertinence sociale et est plus plaisante que la condition pré-enregistrée. L'influence bidirectionnelle des comportements permettrait d'apporter plus de pertinence sociale à l'interaction que dans le cadre d'une influence unidirectionnelle comme illustrée par l'intervention d'un enregistrement audio-visuel.

Cet effet de l'action « en direct » par comparaison à l'action pré-enregistrée a également été étudié sur l'activité musculaire de l'observateur de l'action. Une étude (Jola & Grosbras, 2013) montre par exemple que l'excitabilité motrice cortico-spinale (en utilisant la stimulation magnétique transcrânienne) dans le bras d'une personne observant un individu en train de danser était plus élevée lorsque l'action était observée en direct que via un enregistrement de cette même action. Cette différence s'explique notamment par la présence de l'individu dans la

condition « en direct » qui confère une motivation additionnelle ou un engagement social plus élevé qu'avec l'enregistrement.

Ces deux études (Redcay et al., 2010 ; Jola & Grosbras, 2013) suggèrent que l'influence bidirectionnelle caractérisée par l'interaction sociale semble entraîner un engagement social plus élevé que l'influence unidirectionnelle d'un enregistrement vidéo. L'influence bidirectionnelle entre les individus dans une action conjointe semble s'illustrer par une réactivité des individus à l'action de l'autre.

Cette réactivité ou adaptation aux comportements de l'autre conduirait l'individu à montrer des comportements de coopération et des sentiments d'affiliation envers son partenaire. Cet effet de réactivité sur les comportements a été étudiée via l'imitation comportementale mais aussi sur la synchronisation à un stimulus pouvant entrer dans le cadre de la synchronisation interactionnelle ou interpersonnelle (émergente et/ou planifiée). Par exemple, dans une étude évaluant les effets de l'imitation comportementale sur les attitudes positives à l'égard d'une autre personne (van Baaren et al., 2004), des participants donnaient leur opinion sur un thème pendant que l'expérimentateur imitait la posture et la position des membres de la moitié des participants. Par après, l'expérimentateur recroisait les participants et faisait tomber « accidentellement » des crayons. Les résultats de cette étude ont montré que le pourcentage de participants ramassant les crayons était plus élevé chez ceux qui avaient été imités que chez les autres. Cette étude suggère donc que l'imitation comportementale, soit l'adaptation aux comportements non verbaux de l'autre personne, entraînait une augmentation des comportements de coopération.

D'autres études se sont également intéressées à l'influence de l'enregistrement vidéo sur le comportement par comparaison au face à face en présence physique. Par exemple, une recherche sur des enfants en bas âge comparait la durée de regard et la fréquence d'expressions faciales émotionnelles (peur, intérêt et affect positif) entre le face à face et la vidéo d'un expérimentateur réalisant la même tâche (Diener, Pierroutsakos, Troseth, & Roberts, 2008). Les données étaient analysées sur base du travail de décodage réalisé par des observateurs indépendants qui identifiaient les comportements à partir des enregistrements vidéos des participants. Les résultats de cette étude ont révélé que la durée de regard était plus longue dans la condition « en direct » que dans la condition « pré-enregistrée ». Plus d'expressions faciales de peur et d'intérêt étaient observées lors du face à face que dans la vidéo. Cependant, aucune différence n'était remarquée pour l'affect positif. Cette étude confirme donc que l'enregistrement vidéo entraînerait moins d'expressions faciales émotionnelles (sauf pour

l'affect positif) et attirerait moins l'attention d'enfants en bas âge que le face à face en présence physique.

Le face à face est également susceptible d'augmenter davantage l'empathie qu'un enregistrement audio-visuel. Par exemple, une étude (Hunter, Siess, & Colloca, 2014) examinait la réponse analgésique à un choc électrique placebo via une échelle de perception de la douleur (échelle analogique de 0 à 10) auprès de participants qui voyaient un acteur réalisant la tâche avant eux soit en présence physique, soit à travers un enregistrement vidéo. En plus de l'échelle de douleur, les participants remplissaient un questionnaire d'empathie envers la personne qui réalisait la tâche avant eux (interpersonal reactivity index, Davis, 1983). Les participants ne présentaient pas de niveaux significativement différents entre les réponses analgésiques après la démonstration en présence physique et par vidéo. Cependant, une corrélation positive avec les scores d'empathie était uniquement observée pour le groupe « présence physique » et non dans le groupe « vidéo ». Bien qu'aucune différence n'était mise en évidence entre la présence physique et l'enregistrement vidéo sur l'empathie, le face à face pourrait moduler plus facilement l'empathie qu'un enregistrement vidéo. Toutefois, davantage de recherches devraient être réalisées pour démontrer cette hypothèse.

Ces études rapportent que le face à face en présence physique diffère de l'enregistrement vidéo quant à son influence sur le comportement non verbal suggérant dans certaines situations un engagement social plus élevé du comportement non verbal dans le face à face qu'avec l'enregistrement.

L'enregistrement audio-visuel et le face à face en présence physique reposent sur une bimodalité et serait donc plus informatif qu'un enregistrement réalisé sur un seul mode auditif ou visuel. Cependant, le face à face en présence physique nous apporte davantage d'informations que l'enregistrement audio-visuel. En effet, l'usage d'un écran serait relativement similaire à celui d'une image. La discrimination entre une image en deux dimensions et un objet réel serait facilement réalisée déjà chez des enfants en bas âge (DeLoache, Strauss, & Maynard, 1979). Cependant, l'enregistrement audio-visuel se distingue de l'image par la notion de mouvement. Ce mouvement présent dans l'enregistrement n'est toutefois pas réactif à la personne qui le regarde au contraire d'une situation se produisant en direct. Pour cette raison, l'individu peut identifier facilement la différence entre une interaction sociale en présence physique du partenaire et un enregistrement audio-visuel de celui-ci comme le montre une étude chez des bébés (Stormark & Braarud, 2004). Il semble donc que la réactivité de la personne à travers l'écran face aux comportements de l'autre individu ait un impact sur

l'interaction sociale. Sur base de ces données, il est possible que cette différence entre le face à face en présence physique et l'enregistrement audio-visuel soit observable également sur les réponses comportementales à la musique. Par conséquent, dans cette thèse, nous comparons l'influence de la présence physique d'un musicien se synchronisant à la musique à celle d'un enregistrement audio-visuel de celui-ci sur les comportements non verbaux et les performances de synchronisation du participant. L'influence bidirectionnelle des comportements non verbaux des individus dans une situation de co-action en présence physique pourrait entraîner un engagement des comportements plus élevé qu'avec un enregistrement audio-visuel du musicien. De plus, les caractéristiques stimulantes de la musique pourraient augmenter les réponses produites lors de l'action conjointe par comparaison à une autre séquence rythmique auditive.

3.3. Action conjointe musicale

L'écoute de musique présente une importante composante émotionnelle auprès des individus. L'émotion induite par la musique ou par le musicien peut d'ailleurs conduire l'auditeur à produire des mimiques faciales correspondant à cette émotion (Juslin, 2001). L'écoute de musique, particulièrement lors de la réalisation d'action conjointe, permettrait de stimuler l'expression émotionnelle, de créer des liens sociaux et de renforcer des comportements de coopération entre les individus (Wiltermuth & Heath, 2009; Kirschner & Tomasello, 2010; Stupacher, Wood, et al., 2017; Stupacher, Maes, et al., 2017). Dans cette section, nous décrivons comment l'action conjointe et la musique modulent les réponses motrices à la musique, les comportements de coopération et les affects positifs.

L'écoute de musique a été démontrée pour procurer du plaisir mis en évidence par l'engagement du système de la récompense (Salimpoor et al., 2011, 2015; Mas-Herrero et al., 2018; Ferreri et al., 2019). Cependant, la synchronisation interpersonnelle au rythme de la musique active également le système endogène opioïde lié à la douleur (Tarr, Launay, & Dunbar, 2016). Dans cette dernière étude, les participants par groupe de quatre écoutaient de la musique à travers des écouteurs et dansaient au rythme de la musique. Dans la condition synchrone, les participants écoutaient la même musique et dansaient ensemble en synchronie. Dans les deux conditions asynchrones, les participants écoutaient la même chanson mais de manière décalée de sorte à provoquer de l'asynchronie entre les participants. Les auteurs comparaient les seuils de douleur et l'évaluation des sentiments de proximité sociale de danseurs dans les différentes conditions.

Leurs résultats ont montré que les participants percevaient moins la douleur dans la condition synchrone qu'asynchrone. De même, la proximité sociale a été rapportée comme étant plus élevée dans la condition synchrone qu'asynchrone. Ces résultats pourraient suggérer que la coordination interpersonnelle au rythme de la musique dans une action conjointe pourrait réduire la sensation de douleur et renforcer les liens sociaux.

3.3.1. Effet de l'action conjointe rythmique sur les comportements de coopération et les affects positifs

L'action conjointe et synchronisée lors de l'écoute de musique augmente les comportements de coopération et les sentiments d'affiliation envers les partenaires par comparaison à l'action conjointe mais asynchrone (Wiltermuth & Heath, 2009). Dans cette étude, les participants par groupe de trois écoutaient de la musique avec des écouteurs. Les participants étaient assignés à des conditions soit synchrones, soit asynchrones par rapport au reste des participants. Dans les conditions synchrones, les participants écoutaient la même chanson et synchronisaient soit le chant, soit le chant et le mouvement au rythme de cette chanson. Dans la condition asynchrone, chaque participant écoutait la chanson à un tempo différent par rapport aux autres créant de l'asynchronie entre eux lorsqu'ils se synchronisaient au rythme de la chanson. Après la tâche expérimentale, les participants jouaient à un jeu de « biens publics » dans lequel les participants devaient choisir leur investissement soit dans le bien public, soit dans un bien personnel. Les résultats ont montré que les participants des deux conditions synchronisées investissaient plus dans le bien public que les participants de la condition asynchrone. De plus, les participants des conditions synchrones présentaient des sentiments d'affiliation au groupe plus élevés que ceux de la condition asynchrone. Ce résultat suggère que l'action conjointe musicale et synchronisée augmente les comportements de coopération entre les individus par comparaison à une action conjointe musicale non synchronisée.

Une étude d'imagerie fonctionnelle met également en évidence l'effet de l'action conjointe de synchronisation interpersonnelle sur les comportements de coopération lors de l'écoute de musique (Kokal et al., 2011). Dans cette étude, les participants devaient réaliser des battements (sur un tambour) suivant un entraînement préalable. Ils se trouvaient en présence d'un expérimentateur qui tapait soit en synchronisation avec eux, soit en contretemps (anti-phase). Par après, l'expérimentateur laissait tomber « accidentellement » des crayons comme dans l'étude de van Baaren (2004). Les résultats ont montré que les participants ramassaient plus de

crayons après la condition synchrone qu'asynchrone confirmant les effets de l'action conjointe sur les comportements coopératifs. De plus, les auteurs ont trouvé une activité cérébrale plus élevée du noyau caudé bilatéral lors de la condition synchrone qu'asynchrone et que cette activité était corrélée au comportement de coopération.

3.3.1.1. Effets spécifiques de la musique

Les effets spécifiques de la musique sur les comportements de coopération et les sentiments d'affiliation ont également été examinés à travers des actions conjointes en comparant une activité musicale à une activité non-musicale. Par exemple, de jeunes enfants interagissaient avec un expérimentateur en imitant ses actions. Deux conditions étaient réalisées dans un ordre aléatoire. L'une était musicale dans laquelle les enfants suivaient l'expérimentateur en synchronisant leurs pas au rythme de la musique et en chantant. L'autre condition était non-musicale dans laquelle les enfants marchaient avec l'expérimentateur en faisant simplement « sauter » en l'air des grenouilles de manière non-synchronisée. Ensuite, des tâches coopératives étaient réalisées. Dans une première tâche où les enfants manipulaient des billes dans des tubes, l'activité était interrompue suite à un incident (le couvercle inférieur du tube cède et laisse tomber toutes les billes) qui amenait l'enfant à choisir d'aider le partenaire ou de continuer l'activité. Dans une seconde tâche impliquant une résolution de problèmes, les enfants répartis par paires pouvaient choisir de réaliser cette tâche soit individuellement, soit de manière coopérative. Les enfants se montraient plus disposés à aider leur partenaire dans la première tâche après avoir réalisé la condition musicale que non-musicale. Les participants choisissaient également plus souvent de coopérer avec l'autre enfant dans la seconde tâche après l'action conjointe musicale que non-musicale (Kirschner & Tomasello, 2010). Ces résultats suggèrent donc que la musique pourrait favoriser les comportements de coopération par comparaison à une condition non-musicale lors d'une action conjointe.

Dans une autre étude (Stupacher, Wood, et al., 2017), les participants synchronisaient leur tapping au beat de la musique et du métronome avec un expérimentateur (en face d'eux) qui tapait soit en synchronisation soit en asynchronie avec le tapping du participant. Après la tâche de synchronisation, l'expérimentateur faisait tomber des crayons par terre pour évaluer le comportement de coopération du participant avant de distribuer des questionnaires évaluant les sentiments de sympathie à l'égard de l'expérimentateur. Les résultats ont révélé que les participants ramassaient plus de crayons après la condition synchrone qu'asynchrone lors de

l'écoute de la musique mais pas lors de l'écoute du métronome. Cependant, aucune différence n'a été remarquée sur le sentiment de sympathie à l'égard de l'expérimentateur entre les séquences auditives, ni entre les conditions synchrone/asynchrone. En complément, les résultats de la synchronisation ont révélé que la synchronisation était plus précise entre le tapping des participants et de l'expérimentateur lors de la synchronisation au beat de la musique que du métronome dans la condition synchrone. Cependant, aucune différence n'a été trouvée pour la variabilité de la synchronisation.

Enfin, une étude (Stupacher, Maes, et al., 2017) examinait les effets de l'observation de comportements de synchronisation sur les sentiments de proximité et de sympathie. Dans cette étude, il était demandé aux participants de regarder des vidéos dans lesquelles deux figures (bleue et noire) bougeaient au rythme soit de la musique, soit du métronome, soit en silence. Les participants devaient s'identifier à la figure bleue. Trois cas de synchronisation interpersonnelle étaient dès lors possibles entre les deux figures : soit les deux figures bougeaient de manière synchrone, soit la figure noire (figure de l'autre) était asynchrone, soit la figure bleue (figure du soi) était asynchrone. Ensuite, les participants remplissaient des questionnaires évaluant les sentiments de proximité entre la figure de l'autre et de soi ainsi que l'affiliation par rapport à la figure de l'autre. Les résultats ont montré que le sentiment de proximité entre les figures était plus élevé quand les deux figures étaient synchrones par comparaison aux conditions asynchrones tant avec la musique que le métronome ou le silence. Les sentiments de sympathie envers la figure de l'autre étaient également plus élevés dans les conditions synchrones que dans les autres tant dans la musique que le métronome ou le silence. De plus, les sentiments de sympathie envers la figure de l'autre dans les conditions synchrones étaient plus élevés avec la musique qu'avec le métronome ou le silence.

Ces études mettent donc en évidence que l'action conjointe impliquant une coordination interpersonnelle des mouvements au rythme de la musique entraîne une augmentation des comportements de coopération et des sentiments d'affiliation entre les partenaires (par comparaison à l'absence de coordination interpersonnelle). De plus, quelques études montrent que la musique augmente cet effet de la coordination interpersonnelle sur les comportements de coopération et les sentiments de sympathie par comparaison à des conditions non-musicales. Par conséquent, l'action conjointe et la musique sont deux facteurs susceptibles de moduler les attitudes et les affects positifs entre les individus.

3.3.2. Influence bidirectionnelle ou unidirectionnelle des partenaires

La réactivité de la réponse du partenaire par rapport aux comportements de l'autre influence la performance de synchronisation et pourrait amener à renforcer les liens sociaux entre les partenaires. Quelques études ont examiné la différence de performance de synchronisation interpersonnelle entre une condition avec et sans réactivité de la part du partenaire. Cet examen est possible en manipulant le feedback de la réponse des participants lors d'une tâche de synchronisation. Ainsi, quand le feedback des réponses des deux participants est disponible, une influence bidirectionnelle des comportements des partenaires est observée sur les réponses de l'autre. Cependant, quand seul le feedback d'un partenaire est disponible, une influence unidirectionnelle d'un partenaire sur l'autre est mise en évidence. L'influence bidirectionnelle des informations permet un partage réciproque des intentions et des buts entre les partenaires par comparaison à l'influence unidirectionnelle du feedback. Cet échange des intentions est retrouvé dans l'interaction sociale et pourrait augmenter la coordination interpersonnelle (cf. 3.2.3.3. Interaction sociale et enregistrement du partenaire).

Cette comparaison entre une influence bidirectionnelle et unidirectionnelle des partenaires sur la coordination interpersonnelle a été examinée récemment dans un contexte musical (Demos, Carter, Wanderley, & Palmer, 2017). Dans cette étude, un pianiste se synchronisait à son partenaire soit dans une condition où chacun percevait l'autre (influence bidirectionnelle), soit dans une condition avec un enregistrement du partenaire (influence unidirectionnelle de l'enregistrement vers le participant). Ces deux conditions correspondent également à comparer la synchronisation entre une performance en direct et pré-enregistrée du partenaire. Les résultats ont révélé que le participant se synchronisait plus précisément à son partenaire lors de l'influence bidirectionnelle qu'avec un enregistrement (influence unidirectionnelle). Ceci suggère que l'influence bidirectionnelle ou l'adaptation mutuelle des comportements améliore le degré de coordination interpersonnelle au rythme de la musique par comparaison à l'influence unidirectionnelle d'un individu sur son partenaire.

Une autre étude examinait la différence entre l'influence bidirectionnelle et unidirectionnelle du feedback sur la synchronisation (Konvalinka, Vuust, Roepstorff, & Frith, 2010). Dans cette étude, les participants par paire prenaient place dans deux salles différentes et synchronisaient leur tapping au beat du métronome. Après plusieurs beats, le métronome s'arrêtait et était remplacé par l'une des conditions suivantes : (1) le métronome continuait, (2) les deux participants se synchronisaient aux tapes d'un seul participant (influence unidirectionnelle), (3)

les participants se synchronisaient aux tapes de l'autre (influence bidirectionnelle). Les résultats de l'étude ont montré que la constance de la synchronisation interpersonnelle était plus élevée avec l'influence bidirectionnelle qu'unidirectionnelle. De plus, aucune différence de performance de synchronisation n'a été trouvée entre la synchronisation au beat du métronome et la condition d'influence bidirectionnelle. Cependant, l'influence bidirectionnelle a révélé plus de difficultés à maintenir le tempo du métronome qu'avec l'influence unidirectionnelle suggérant que l'influence bidirectionnelle dévie plus l'attention du métronome que l'influence unidirectionnelle. Les résultats de cette étude démontrent que l'adaptation mutuelle des comportements, malgré une prévisibilité variable du partenaire, entraîne de meilleures performances de synchronisation interpersonnelle qu'une synchronisation avec un partenaire peu prévisible et non réactif aux réponses de l'autre. De plus, ces résultats mettent en évidence des performances équivalentes entre la synchronisation avec un partenaire prévisible mais non réactif aux réponses de l'autre (métronome) qu'avec un partenaire peu prévisible mais adaptatif (influence bidirectionnelle). Il semble donc que l'adaptation et la prédiction temporelle sont deux mécanismes importants tant dans la synchronisation aux beats que dans la synchronisation interpersonnelle.

Quelques études ont également évalué l'impact de différents contextes sociaux sur la performance de synchronisation. Par exemple, une étude a comparé la synchronisation au rythme de la musique de participants quand ils étaient seuls ou en groupe. Leurs résultats ont montré que le degré de synchronisation au rythme de la musique était plus élevé en groupe que seul (De Bruyn, Leman, Moelants, Demey, & Desmet, 2009). Bien que ce résultat n'a pas été retrouvé dans une autre étude chez des enfants (De Bruyn, Leman, & Moelants, 2009), l'intensité de leurs mouvements était plus élevée en groupe qu'en individuel. Enfin, une étude (Kirschner & Tomasello, 2009) a rapporté que la constance de la synchronisation chez des enfants était plus élevée quand ils se synchronisaient avec un partenaire humain plutôt qu'avec un enregistrement audio ou une machine. Ces résultats suggèrent que l'influence bidirectionnelle entre les individus par comparaison à une influence unidirectionnelle augmente la performance de synchronisation. De plus, le contexte social semble influencer les comportements non verbaux en réponse à la musique durant la tâche de synchronisation. Ainsi, l'influence d'un partenaire humain (influence bidirectionnelle) lors d'une action conjointe pourrait augmenter la performance de synchronisation et la production de comportements non verbaux par comparaison à un partenaire prévisible mais peu adaptatif (influence unidirectionnelle) tel qu'un enregistrement audio-visuel.

3.4. Comportements non verbaux et interaction sociale dans la maladie d'Alzheimer

3.4.1. Fonctions des comportements non verbaux

Les comportements non verbaux correspondent à un moyen de communication qui permet de transmettre des informations tant au niveau des émotions que des relations sociales (comme la confiance, la proximité ou la domination par exemple). Au cours d'une interaction sociale, nous produisons de nombreux comportements non verbaux (expressions faciales, contact visuel ou gestes par exemple). Ces comportements présentent toutefois des fonctions différentes. En effet, les comportements non verbaux peuvent servir à exprimer et communiquer des émotions. Cette fonction permet donc à l'observateur d'inférer des états émotionnels à la personne qui produit ce comportement. Cette fonction est le plus souvent observée à travers les mimiques faciales qui peuvent être reliées à des émotions spécifiques (Ekman, 1982). Par exemple, une expression faciale de joie et la production de sourires lors d'une conversation signalent que ce qui est raconté entraîne de la joie et de l'amusement chez cette personne. D'autres comportements comme la posture et les mouvements corporels semblent également montrer un lien entre leurs caractéristiques et des émotions spécifiques comme le rapporte Wallbott (1998). Par exemple, taper dans les mains et la tête orientée vers le haut lors de la production de rires sont des comportements qui peuvent être interprétés comme des signes de joie.

Une autre fonction que peuvent remplir les comportements non verbaux est la régulation de l'interaction sociale. Par exemple, lorsqu'une personne finit de parler et regarde son interlocuteur, cela signale que cet interlocuteur est invité à prendre la parole. De même, si celui-ci détourne le regard, cela indique qu'il ne souhaite pas prendre la parole. La régulation de l'interaction sociale serait mise en évidence en particulier par la synchronisation interpersonnelle de comportements non verbaux (Bernieri & Rosenthal, 1991). Comme nous l'avons présenté précédemment, la synchronisation interpersonnelle de comportements est progressive entre les individus et permettrait de renforcer les liens sociaux ainsi que de stimuler les comportements de coopération entre les individus (Wiltermuth & Heath, 2009; Páez, Rimé, Basabe, Wlodarczyk, & Zumeta, 2015). Par ailleurs, plus le degré de coordination interpersonnelle serait élevé, plus le sentiment d'affiliation (Hove & Risen, 2009) et de satisfaction (Noller, 1984) serait élevé.

Les comportements non verbaux permettent également d'influencer la production et la compréhension du discours. Par exemple, la production de gestes permet de compléter ou de substituer dans certains cas l'émission verbale quand elle est altérée (Schiaratura, Pastena, Askevis-Leherpeux, & Clément, 2015). Cet apport des gestes pourrait favoriser la compréhension du discours (Graham & Argyle, 1975) car l'auditeur pourrait se référer au comportement non verbal pour trouver des informations qu'il ne perçoit pas dans le discours (de Ruiter, 2006).

Enfin, les comportements non verbaux peuvent avoir une fonction sociale (Schiaratura, 2013). Les comportements non verbaux informent des attitudes interpersonnelles (Word, Zanna, & Cooper, 1974), des statuts sociaux et de la relation sociale entre les individus comme la dominance (Eibl-Eibesfeldt, 1989) et l'intimité (Mehrabian, 1969). Par exemple, une personne avec un statut social dominant par rapport à l'autre présentera une posture droite, parlera fort et regardera plus longtemps son interlocuteur pendant que celui-ci parle, au contraire d'une personne avec un statut social moins dominant (Mehrabian, 1969). Les comportements non verbaux permettent également d'émettre une image de soi à autrui qui peut être modulée par des changements dans les expressions faciales et la posture. Par exemple, une fréquence élevée d'expressions faciales de joie ainsi que les épaules et les bras détendus peuvent renvoyer l'image d'une personne ouverte et positive.

Par conséquent, un même comportement non verbal de la part d'un individu, comme un sourire par exemple, peut avoir une fonction sociale et informer d'une émotion spécifique ressentie (Ekman, Friesen, & Ellsworth, 1972). Ce comportement met aussi en évidence les intentions de l'individu vis-à-vis d'autrui permettant de transmettre une attitude interpersonnelle positive à l'égard de cette personne (Mehrabian, 1969). De plus, cette émission du comportement non verbal permet de réguler la relation sociale entre les individus notamment au travers d'un processus de synchronisation progressive des comportements (Cappella, 1997). Bien que les processus liés à la communication de comportements non verbaux se réalisent généralement de manière automatique, ceux-ci peuvent également être contrôlés (Lakin, 2006). Le contrôle de la production de comportements non verbaux est retrouvé par exemple quand une personne ment ou lorsqu'une personne souhaite se présenter d'une manière particulière. Par exemple, lorsqu'une personne ment et se sait observée, elle essaiera de contrôler son comportement en évitant de détourner le regard (DePaulo, Lindsay, Malone, Muhlenbruck, Charlton, & Cooper, 2003).

La production de comportements non verbaux se retrouve néanmoins soumis aux conventions sociales. En effet, le contexte d'un entretien d'embauche aura une influence différente sur l'expression émotionnelle ainsi que sur la fréquence et durée du contact visuel par comparaison à une discussion autour de la machine à café.

3.4.2. Influence de la maladie d'Alzheimer sur les comportements non verbaux

La maladie d'Alzheimer présente fréquemment une altération de l'expression verbale ainsi que des difficultés dans l'interprétation des comportements non verbaux (Georges et al., 2008; Bediou et al., 2009; Shany-Ur & Rankin, 2011). Ces difficultés principalement de production verbale entraînent un dysfonctionnement des capacités de communication pouvant conduire à un isolement social (Klimova, Maresova, Valis, Hort, & Kuca, 2015). Néanmoins, bien que les capacités de langage se réduisent avec l'avancée de la maladie (Eustache et al., 2014), il semble que la production de comportements non verbaux reste relativement préservée en particulier au niveau de la posture, des expressions faciales et de l'orientation du regard (Feyereisen, 1993; Rousseaux et al., 2010). Un débat existe toutefois quant au degré de préservation de la communication non verbale. En effet, il est rapporté dans certains cas que l'atteinte du langage verbal peut entraîner une augmentation des comportements non verbaux (Rousseau, 2007). Cependant, d'autres études ont montré une réduction de la production de comportements non verbaux avec la sévérité de la maladie (Perl, Shay, Hamburger, & Steiner, 1992; Glosser, Wiley, & Barnoskir, 1998). Ce débat concernant la perception et la production des comportements non verbaux par comparaison aux capacités de langage verbal dans la maladie d'Alzheimer s'illustre par différents modèles théoriques de la communication. Par exemple, selon McNeill (2008), les gestes et le langage verbal proviennent d'un même système. Par conséquent, l'atteinte de la production verbale dans la maladie d'Alzheimer entraînerait également une réduction de production de gestes lors du discours. Selon une autre théorie (Feyereisen, 1987), les gestes et le langage verbal seraient traités par deux systèmes distincts. Suivant cette conception, l'altération d'une composante se verrait compensée par l'autre comme remarqué parfois dans la maladie d'Alzheimer (Feyereisen, Berrewaerts, & Hupet, 2007).

Certaines études ont examiné les capacités de perception et de production des comportements non verbaux dans la maladie d'Alzheimer (Schiaratura, 2008 pour une revue). Par exemple, une étude (Schiaratura et al., 2015) compare la fréquence de gestes utilisés dans une conversation entre des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer à des stades modérés à avancés et des

participants contrôles. Les résultats ont révélé que les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer présentaient moins de production verbale que les participants contrôles. Cependant, la production de gestes dans la conversation, même si ceux-ci sont produits moins fréquemment que chez les contrôles, continuait particulièrement en absence de mot. Ces résultats ont également été retrouvés dans une autre étude (Caussade, Henrich Bernardoni, Colletta, & Vallée, 2015). Dans une précédente recherche (Di Pastena, 2014), une analyse longitudinale de personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer démontre que malgré la réduction de production verbale, la production de gestes restait équivalente avec l'avancée de la maladie. De plus, la production de gestes augmente proportionnellement avec la sévérité de la maladie suggérant que la production de comportements non verbaux pourrait compenser les troubles du langage verbal dans la maladie d'Alzheimer comme suggéré par Feyereisen et ses collaborateurs (2007).

L'intensité des expressions faciales produites pourrait également être modulée par la maladie d'Alzheimer. En effet, les expressions faciales en réponse à des stimuli olfactifs et gustatifs étaient produites de manière moins intense chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer par comparaison à des sujets contrôles (Perl et al., 1992). Une autre étude (Rousseaux et al., 2010) examinait les comportements verbaux et non verbaux de personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer au cours d'entretiens. Les auteurs évaluaient l'attention portée à l'interlocuteur sur base notamment de l'orientation du regard, l'engagement à partir des initiatives verbales et non verbales ainsi que la production de gestes et d'expression affective. Leurs résultats ont démontré que les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer présentent des capacités préservées de la communication non verbale excepté au niveau des gestes permettant la régulation de l'interaction.

Il semble donc sur base de ces résultats que les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer soient en mesure de produire des comportements non verbaux même jusqu'à des stades avancés de la maladie. Cependant, l'intensité des expressions faciales et la régulation de certains comportements non verbaux pourraient être affectées par la maladie.

3.4.2.1. Impact des troubles thymiques sur les comportements non verbaux

Certains troubles associés à la maladie d'Alzheimer comme les troubles thymiques sont toutefois susceptibles de diminuer l'engagement social et la production de comportements non verbaux, en particulier ceux exprimant une émotion positive. En effet, la dépression ainsi que

l'apathie et l'anxiété sont fréquemment observés dans la maladie d'Alzheimer (Bungener et al., 1996; Thomas et al., 2002; Starkstein et al., 2005; Mograbi & Morris, 2014). A notre connaissance, aucune étude ne démontre l'influence des troubles thymiques sur les capacités de communication dans la maladie d'Alzheimer. Cependant, l'entourage des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer rapporte plus de comportements non verbaux en lien avec des émotions négatives que positives (Tappen & Williams, 1998). De plus, une étude met en évidence que la dépression réduirait la recherche d'interaction sociale (Schelde & Hertz, 1994). Selon cette même étude, les personnes atteintes de dépression parleraient moins longtemps et produiraient moins de mouvements. Enfin, la dépression réduirait la coordination interpersonnelle des comportements non verbaux dans une interaction sociale (Bos, Bouhuys, Geerts, van Os, & Ormel, 2007).

3.4.2.2. Impact des troubles cognitifs sur les comportements non verbaux

Le déclin cognitif est également susceptible d'influencer la perception et la production des comportements non verbaux dans la maladie d'Alzheimer. Plusieurs études se sont intéressées à l'impact de la maladie sur la cognition sociale (Shany-Ur & Rankin, 2011 pour une revue). La cognition sociale se réfère à l'ensemble des processus cognitifs implicites et explicites qui permettent à un individu de comprendre, d'interpréter et prédire les comportements des autres dans le cadre de relations et d'environnements sociaux parfois complexes (Fiske, 1993; Renfrew, Frith, Malafouris, & Frith, 2008; Kemp, Després, Sellal, & Dufour, 2012). Le traitement de la cognition sociale est à la fois automatique et volontaire et se base sur des processus cognitif, émotionnel et motivationnel impliquant notamment la mémoire, la prise de décision, l'attention et les fonctions exécutives (Adolphs, 2009). Bien que la cognition sociale serait préservée dans les stades débutants de la maladie d'Alzheimer (Sabat & Gladstone, 2010), certaines études rapportent une possible altération de cette fonction à partir des stades modérés (Kemp et al., 2012 pour une revue). Par exemple, une perturbation de la reconnaissance des émotions à partir d'expressions faciales a été observée dans les stades modérés de la maladie d'Alzheimer (Bediou et al., 2009) qui augmenterait dans des stades plus sévères (Albert, Cohen, & Koff, 1991; Hargrave, Maddock, & Stone, 2002; Lavenu & Pasquier, 2005). Cependant, cette altération ne serait pas toujours vérifiée (Bucks & Radford, 2004). Par exemple, dans un cadre d'évaluation plus axée sur la réalité quotidienne, aucune différence de reconnaissance des émotions à travers des expressions faciales n'a été remarquée entre des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer et les sujets contrôles (Henry et al., 2008). Cette divergence de résultats

entre un cadre expérimental et un contexte plus réaliste pourrait s'expliquer par le fait que les expériences réalisées en laboratoire n'évaluaient que la perception visuelle des expressions faciales. Or, dans un contexte de la vie quotidienne, la perception auditive, par exemple, des émotions à travers de la voix pourrait compenser l'altération de la perception visuelle des émotions sur base des expressions faciales comme le suggère une étude (Drapeau, Gosselin, Gagnon, Peretz, & Lorrain, 2009).

Une étude (Cosentino et al., 2014) s'est intéressée à l'impact du déclin de l'efficacité cognitive globale dans la maladie d'Alzheimer sur les performances à des tâches de cognition sociale incluant la théorie de l'esprit et la reconnaissance des émotions. Les résultats ont révélé que l'altération des performances n'est pas liée au déclin de l'efficacité cognitive globale. Ces données confirment donc que la perturbation de la cognition sociale ne repose pas sur le déclin du fonctionnement cognitif global mais pourrait dépendre de fonctions spécifiques atteintes dans la maladie d'Alzheimer comme la mémoire de travail et les fonctions exécutives et dont le déficit augmenterait avec l'avancée de la maladie.

Quelques études ont examiné l'impact de la maladie d'Alzheimer sur des tâches de cognition sociale impliquant la mémoire de travail et les fonctions exécutives. Par exemple, une étude (Goodkind, Gyurak, McCarthy, Miller, & Levenson, 2010) a montré que des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer ont des difficultés à réguler leur réponse comportementale face à l'apparition d'un stimulus désagréable quand ils sont avertis de l'apparition de ce stimulus mais pas quand celui-ci apparaissait sans avertissement préalable. Les auteurs suggéraient que le contrôle exécutif de la réponse régulée pouvait être partiellement altéré dans la maladie d'Alzheimer. De même, une étude a démontré que les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer avaient plus de difficultés que les participants contrôles à résoudre des tâches de théorie de l'esprit faisant intervenir la mémoire de travail et les fonctions exécutives (Gregory et al., 2002). Or, ces fonctions semblent altérées dans la maladie d'Alzheimer. Par conséquent, les troubles cognitifs rencontrés dans la maladie d'Alzheimer sont susceptibles d'interférer la cognition sociale dans des situations faisant appel à des ressources de haut niveau. Néanmoins, cette altération due aux troubles cognitifs ne semble pas interférer la production de comportements non verbaux. En effet, une étude (Sturm et al., 2011) a examiné la comparaison du contact visuel dans une interaction sociale entre des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer, des personnes atteintes d'une démence fronto-temporale et des sujets contrôles. Les résultats ont mis en évidence que les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer présentent autant de regards mutuels que les sujets contrôles alors que les personnes avec une

démence fronto-temporale regardent moins leurs partenaires que les autres participants. Cette étude suggère donc que l'attention portée vers le partenaire n'est pas affectée par la maladie d'Alzheimer confirmant les résultats trouvés par Bediou et ses collaborateurs (2009).

En conclusion, les troubles cognitifs présents dans la maladie semblent altérer la perception d'émotions à travers des comportements non verbaux surtout lorsque la situation demande des ressources cognitives de haut niveau. Cependant, la perception et la production de comportements non verbaux sont généralement préservées dans la maladie d'Alzheimer. Une attention doit toutefois être portée sur l'influence des troubles thymiques sur la production des comportements non verbaux. Même si aucune étude ne démontre cette influence dans la maladie d'Alzheimer, les troubles thymiques comme la dépression pourraient moduler la production des comportements non verbaux et perturber les interactions sociales.

Objectifs de la thèse et questions de recherche

De nombreuses études rapportent les effets bénéfiques des interventions musicales sur l'humeur, l'expression émotionnelle, les troubles comportementaux et sur la cognition des personnes atteintes de maladies neurodégénératives comme la maladie d'Alzheimer (cf. méta-analyses Garrido et al., 2017; Pedersen et al., 2017; van der Steen et al., 2017). Parmi ces interventions musicales, il est fréquemment demandé aux participants de se synchroniser au rythme de la musique avec des partenaires ou avec un musicien à travers des sessions musicales actives (Sherratt et al., 2004; Holmes et al., 2006; Raglio et al., 2008, 2010; Sung et al., 2012; Särkämö et al., 2014; Hsu et al., 2015; Lesaffre et al., 2017).

Dans cette thèse, nous postulons que la synchronisation au rythme de la musique, particulièrement en action conjointe, augmente l'engagement moteur (quantité de mouvements spontanés), l'engagement rythmique (production spontanée de comportements liés au rythme de la musique) et l'engagement social et émotionnel (production de comportements liés à la qualité de la relation sociale et émotionnelle) des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer (MA) ou de maladies apparentées au cours des interventions musicales. En effet, la synchronisation au rythme de la musique est une activité plaisante (Janata et al., 2012) au cours de laquelle la production spontanée de mouvements rythmiques en réponse à la musique peut conduire à lier les caractéristiques musicales aux émotions et à l'expression corporelle (Leman, 2007). De plus, l'activité conjointe de synchronisation au rythme de la musique est susceptible de favoriser l'interaction sociale entre les partenaires, même quand ceux-ci sont atteints d'une maladie neurodégénérative comme le suggèrent des revues récentes (Cason et al., 2017; Baird & Thompson, 2018).

De nombreuses études réalisées chez des participants plus jeunes ont démontré que l'action conjointe de synchronisation (ou synchronisation interpersonnelle) augmente la production de comportements de coopération et les sentiments de sympathie à l'égard des partenaires (van Baaren et al., 2004; Hove & Risen, 2009; Wiltermuth & Heath, 2009; Kirschner & Tomasello, 2010; Valdesolo et al., 2010; Valdesolo & Desteno, 2011; Kokal et al., 2011; Stevenson Won et al., 2014; Vicaria & Dickens, 2016; Cirelli, 2018). Quelques études ont d'ailleurs mis en évidence que la musique augmente les effets de cette coordination sur ces comportements par comparaison au métronome (Stupacher, Maes, et al., 2017; Stupacher, Wood, et al., 2017). Ainsi, il semble que l'action conjointe musicale renforce l'engagement social et émotionnel

(production de comportements liés à la relation sociale et émotionnelle) produit lors des activités musicales.

Quelques travaux réalisés auprès de personnes atteintes de maladies neurodégénératives à des stades avancés (Sherratt et al., 2004; Holmes et al., 2006; Lesaffre et al., 2017, cf. 2.6. *Is music special for people with dementia ?*) ont aussi montré que la présence physique d'un musicien renforce l'engagement à la musique (production spontanée de comportements liés au rythme de la musique et quantité de mouvements) par comparaison à un enregistrement. Ces résultats suggèrent donc que non seulement l'action conjointe mais aussi la présence physique du partenaire peuvent avoir un impact sur l'engagement moteur et rythmique ainsi que sur les liens sociaux des personnes atteintes de la MA au cours d'une activité musicale.

Cependant, peu d'études se sont intéressées au processus de synchronisation au rythme de la musique dans la MA et maladies apparentées. Or, comme nous le rapportons dans la section 2.6. *Is music special for people with dementia ?*, le couplage audio-moteur lors de l'écoute de musique implique différents systèmes liés aux émotions, aux comportements moteurs, à la cognition et au fonctionnement social modulant l'engagement à la musique (Troost et al., 2017). De plus, plusieurs études suggèrent que le couplage audio-moteur serait au moins partiellement préservé dans la MA (Frisoni et al., 2010; Jacobsen et al., 2015; King et al., 2019) expliquant pourquoi les personnes qui en sont atteintes continuent à produire spontanément des mouvements rythmiques en réponse à la musique. Néanmoins, quelques études suggèrent que le processus de synchronisation est altéré par la maladie (Bangert & Balota, 2012; Martin et al., 2017). Ainsi, l'examen des mécanismes sous-jacents à l'activité de synchronisation au rythme de la musique en action conjointe dans la MA permet de vérifier comment cette activité module les différents aspects de la réponse à la musique chez des personnes atteintes par cette maladie tant au niveau du comportement moteur et rythmique qu'au niveau des émotions et de la relation sociale. De cette manière, nous pourrions observer si les effets thérapeutiques des interventions musicales sur les émotions, le comportement moteur et la cognition des personnes atteintes de la MA peuvent s'expliquer en partie par la synchronisation au rythme de la musique.

Par conséquent, l'objectif de cette thèse est d'examiner les effets de l'activité de synchronisation au rythme de la musique sur le comportement de personnes atteintes de la MA (ou de maladies apparentées) et de personnes présentant un vieillissement physiologique 'normal'. Les objectifs de nos recherches sont d'étudier l'influence du contexte social, de la musique (et de ses caractéristiques temporelles) et de la maladie sur :

(1) les performances de synchronisation

(2) la quantité de mouvements spontanés (engagement moteur),

(3) la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle (engagement social et émotionnel)

(4) la production spontanée de mouvements rythmiques (engagement rythmique).

Ainsi, dans l'**étude 1 (chapitre 4)**, nous avons examiné l'influence de la musique et de ses caractéristiques temporelles (tempo et métrique) et l'impact du contexte social sur les performances de synchronisation du tapping et sur la quantité de mouvements spontanés chez des personnes atteintes de MA. Cet examen a été effectué au cours d'une tâche de synchronisation aux beats du métronome et au rythme de la musique dans différents tempi et différentes métriques en présence physique et pré-enregistrée d'une chanteuse réalisant la tâche avec les participants.

Ensuite, pour vérifier l'impact de la musique (et de ses caractéristiques temporelles) et de l'interaction sociale sur l'engagement rythmique, social et émotionnel au cours de la tâche de synchronisation, nous avons observé la production spontanée de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle ainsi que la production spontanée de mouvements rythmiques des participants dans cette activité (**étude 1, chapitre 5**).

Dans l'**étude 2 (chapitre 6)**, nous avons examiné l'impact de la MA sur les performances de synchronisation et sur l'engagement moteur dans des conditions similaires à l'étude 1 en comparant la synchronisation du tapping et la quantité de mouvements entre des personnes atteintes de la MA (ou de maladies apparentées) et des témoins présentant un vieillissement physiologique 'normal'. Cet examen permet de vérifier si la MA et le déclin cognitif et moteur ont un impact sur le couplage audio-moteur (ou sur la synchronisation au rythme de la musique) par comparaison au vieillissement 'normal'.

Etant donné que la MA pourrait avoir une influence sur l'engagement à la musique et à l'interaction sociale au cours de l'activité de synchronisation, nous avons comparé la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle ainsi que la production spontanée de mouvements rythmiques entre les personnes atteintes de MA et les témoins dans les différentes conditions (**étude 2, chapitre 7**).

Pour conclure, nous avons comparé les comportements des participants atteints de la MA entre les deux études pour vérifier si la sévérité de la MA peut altérer les performances de

synchronisation et la production de comportements non verbaux en réponse à l'activité de synchronisation (**chapitre 8**).

Partie expérimentale

Etude 1

Chapitre 4 : Influence du contexte social sur la synchronisation au rythme musical dans la maladie d'Alzheimer

Influence of social context on synchronization to musical rhythm in Alzheimer's disease

Matthieu Ghilain¹, Loris Schiaratura¹, PhD, Micheline Lesaffre², PhD, Joren Six², PhD Frank Desmet², PhD, Sylvain Clément¹, PhD, and Séverine Samson^{*1,3}, PhD.

¹ PSITEC EA 4072, Université de Lille, Villeneuve d'Ascq, Lille, France

² IPEM, Department of Arts, Music and Theater Sciences, Ghent University, Belgium

³ AP-HP, GH Pitié-Salpêtrière- Charles Foix, Paris, France

Résumé. L'engagement à la musique chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer ou de maladies apparentées s'observe fréquemment à travers la production spontanée de mouvements liés au rythme de la musique. La production de tels mouvements, en particulier durant les interventions musicales réalisées collectivement, témoigne d'une possible préservation du couplage audio-moteur et de l'influence du contexte social liée à la présence d'autres personnes. Bien que cet engagement à la musique peut être modulé par l'interaction sociale, rares sont les études à s'y être intéressées dans la maladie d'Alzheimer. Dans cette étude, nous avons examiné l'influence du contexte social sur la synchronisation du tapping et sur la quantité de mouvements spontanés de personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer (ou de maladies apparentées). Pour cela, deux mesures de synchronisation ont été calculées se rapportant à la variabilité (*constance*) et à la précision de la synchronisation (*asynchronies signées*). Les participants synchronisaient leurs tapes aux battements du métronome et au rythme de la musique dans deux tempi différents en action conjointe avec une chanteuse physiquement présente ou à travers un enregistrement audio-visuel. Les résultats ont révélé que la présence physique de la chanteuse diminue la constance et l'asynchronie moyenne négative - correspondant à des réponses anticipées - par comparaison à la condition pré-enregistrée. Cet effet était d'ailleurs plus important en réponse à la musique qu'avec le métronome, et plus important avec un tempo lent (800 ms) qu'avec un tempo plus rapide (667 ms). Cependant, aucun de ces facteurs n'avait d'impact sur la quantité de mouvements. Seul l'âge semblait

influencer la quantité de mouvements, la production spontanée de mouvements liés au rythme de la musique diminuant avec l'âge. Cette étude a mis en évidence que l'interaction sociale module la synchronisation au rythme de la musique dans la maladie d'Alzheimer suggérant que la présence physique d'un partenaire influencent les réponses à la musique de cette population au cours des interventions musicales.

Mots clés : synchronisation sensorimotrice, maladie d'Alzheimer, musique, interaction sociale, rythme

***Abstract.** Very few studies investigated synchronization to musical rhythm in Alzheimer's disease. However, spontaneous production of movements related to the rhythm of music is frequently observed in patients during collective musical interventions. Previous studies have shown the influence of social interaction on the movements induced by listening to music. In this study, we examined the influence of social context on tapping synchronization and the quantity of spontaneous movements of people with Alzheimer's disease or related disorders. For this purpose, two synchronization measurements were calculated relating to variability (consistency) and synchronization accuracy (signed asynchronies). Participants synchronized their tapping to the beats of the metronome and to the rhythm of music in two different tempi in joint action with a singer in physical presence or with an audio-visual recording. The results revealed that the singer's physical presence reduces the consistency and the mean signed asynchronies (anticipated taps) compared to the pre-recorded condition. In addition, this effect was greater in response to the music than with the metronome and was also modulated more in slow tempo (800 ms) than with faster tempo (667 ms). However, none of these factors had an impact on the quantity of motion. Only the age was found to influence the quantity of motion, the spontaneous production of movements decreasing with the age. Our findings highlighted that social interaction modulates synchronization to musical rhythm in Alzheimer's disease suggesting that the physical presence of a partner influences the response to music in this population during musical interventions.*

Keywords: sensorimotor synchronization, Alzheimer's disease, music, social interaction, rhythm

Points clés

- L'interaction sociale réduit la constance et l'asynchronie moyenne négative (anticipation) en réponse au rythme de séquences auditives suggérant que la chanteuse en présence physique augmente la variabilité de la tape par comparaison à un enregistrement audio-visuel, tout en modulant la précision de la réponse au rythme musical.
- Cet effet du contexte social est plus important en réponse à la musique qu'au métronome mettant en évidence l'influence de la complexité rythmique et de l'engagement à la musique par comparaison à la régularité des battements du métronome.
- Un intervalle plus lent (800 ms) entre les battements augmente l'effet de la présence physique de la chanteuse sur la constance de la synchronisation par comparaison à un tempo plus rapide (667 ms) mais pas sur les asynchronies montrant que les deux mesures sont influencées différemment par ces facteurs et qu'un tempo plus lent permet aux participants de porter leur attention davantage à la chanteuse qu'avec un tempo plus rapide.
- L'avancée en âge réduit la production spontanée de mouvements liés au rythme de la musique dans la maladie d'Alzheimer.

Introduction

L'écoute musicale entraîne fréquemment les personnes à bouger spontanément ou à taper des mains au rythme de la musique [1,2]. Cet engagement à la musique repose sur le couplage audio-moteur entre la perception des battements (*beats*) dans le rythme de la musique et la production de mouvements en réponse à ce rythme [3, 4 pour une revue]. Pour examiner la synchronisation sensorimotrice (*sensorimotor synchronization*, SMS), deux types de séquences sonores sont souvent utilisés : des séquences de sons réguliers (ou séquences métronomiques) ou des séquences musicales. La SMS en réponse aux séquences régulières est généralement plus constante (c'est-à-dire moins variable) que la SMS en réponse à des séquences musicales [5–7]. Le type de séquences rythmiques affecte également la précision des réponses. En effet, l'asynchronie moyenne négative - correspondant à des réponses anticipées – est plus importante avec des séquences métronomiques qu'avec des séquences musicales. Selon certains auteurs [8], la SMS en réponse à un rythme régulier serait moins coûteuse au niveau de la charge cognitive que la SMS en réponse à un rythme musical, ce qui expliquerait que les tapes soient

plus constantes et plus anticipées dans la première condition. Toutefois, la métrique binaire ou ternaire d'un rythme musical, généralement plus complexe, permet de subdiviser les intervalles entre les battements réduisant ainsi l'asynchronie. En revanche, les séquences métronomiques, constituées d'intervalles vides entre les battements inciteraient à taper avant la présentation du son [9,10].

Dans le domaine des pathologies neurodégénératives, la plupart des études rapportées dans la littérature a été réalisée chez des personnes atteintes de la maladie de Parkinson [11–15]. Les résultats de ces études suggèrent que la SMS dans ce cas est moins constante mais également moins précise que chez les témoins, l'asynchronie moyenne négative (ou l'anticipation) étant plus élevée chez les patients [12,14]. Rares sont les études qui ont abordé cette question chez des personnes présentant une maladie d'Alzheimer (MA) ou une maladie apparentée. Quelques études ont néanmoins examiné les différences entre les performances des patients et celles des témoins sur des tâches de continuation de phase en utilisant des séquences métronomiques. Les résultats ont à nouveau mis en évidence une variabilité plus importante de la synchronisation chez les patients en particulier avec les tempi lents (IOI de 1000 ms) [16,17]. Cependant, aucune étude à notre connaissance n'a examiné la SMS au rythme de la musique dans la MA ou maladies apparentées. Ceci semble d'autant plus surprenant que la production spontanée de mouvements rythmiques durant l'écoute musicale est fréquemment observée dans cette population clinique, notamment lors d'une activité musicale réalisée collectivement [18]. La production de tels mouvements en réponse au rythme musical témoigne d'une sensibilité intrigante à la musique et d'une possible préservation d'un réseau cérébral impliqué dans le contrôle sensorimoteur [19–21].

Quelques études publiées dans la littérature suggèrent que les mouvements spontanés sont encore plus nombreux lorsque la musique est jouée par un musicien physiquement présent, plutôt que par un enregistrement. Ainsi, Sherratt et collaborateurs [22] ont montré que la durée des réponses spécifiques à la musique était plus longue et que le niveau d'engagement et de bien-être des patients présentant une maladie neurodégénérative (stades modérés à avancés, $n = 24$), était plus élevé lorsqu'ils écoutaient un musicien chanter devant eux plutôt que son enregistrement audio. Dans une étude comparable, Holmes et collaborateurs [23] ont obtenu des résultats similaires chez des patients à un stade sévère de la maladie. L'augmentation des réponses spécifiques à la musique lorsqu'elle est jouée par un musicien plutôt que diffusée par un média sonore souligne l'influence de l'interaction sociale sur les comportements non verbaux. Plus récemment, Lesaffre et collaborateurs [24] sont arrivés aux mêmes conclusions

en mesurant la quantité de mouvements spontanés naturellement produits durant l'écoute musicale. Pour ce faire, les auteurs ont développé un dispositif expérimental, spécialement conçu pour les personnes âgées. La chaise du participant, posée sur une plaque de force équipée de plusieurs capteurs, permettait de mesurer les mouvements du corps à partir des variations de poids exercées sur cette planche. Les résultats des patients ($n = 32$) ont montré que la quantité de mouvements était plus importante lorsque la musique était jouée par un musicien plutôt que présentée par un média. Ces données soulignent une fois de plus l'importance de la présence du musicien et de l'interaction sociale qui en découle sur la production spontanée de mouvements corporels induits par l'écoute musicale chez des patients à un stade avancé de la maladie. Toutefois, l'interprétation de ces résultats est délicate puisque les conditions de présentation de la musique ne sont pas comparables. En effet, la musique jouée par un musicien fournit des indices auditifs mais également visuels, alors que l'enregistrement utilisé dans ces études est uniquement auditif. Il est donc difficile de déterminer si le bénéfice de la présence du musicien sur la production spontanée des mouvements du corps résulte de l'interaction sociale ou simplement de la stimulation multimodale qu'elle suscite.

La présence d'autres personnes au cours d'une intervention musicale pourrait également influencer la performance de synchronisation chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. Cependant, l'effet de ce contexte social sur la synchronisation n'a pas été étudié jusqu'à présent dans cette population. Des travaux menés chez le jeune enfant et le jeune adulte ont démontré toutefois que l'action conjointe en présence d'un partenaire module la performance de synchronisation par comparaison à un enregistrement. Une étude a montré que la synchronisation de jeunes enfants aux tapes d'un expérimentateur physiquement présent était plus constante que la synchronisation aux battements du métronome ou aux tapes d'un robot [25]. Selon les auteurs, l'attention conjointe entre l'enfant et l'expérimentateur crée une représentation partagée de l'action qui les conduit à adapter leurs comportements et à anticiper les tapes de l'autre [26]. Une autre étude a aussi mis en évidence que les asynchronies entre des pianistes diminuaient en présence physique du partenaire par comparaison à un enregistrement de celui-ci [27]. Ainsi, l'action conjointe avec un partenaire physiquement présent permettrait d'augmenter la constance de la synchronisation et de réduire les asynchronies du participant par comparaison à un enregistrement.

Le rôle des partenaires dans la tâche de synchronisation peut également moduler la performance de synchronisation. Ainsi, lorsque le partenaire est *leader* [27], il se concentre sur son propre tapping et sa synchronisation se caractérise par une constance élevée et une tape anticipée par

opposition au *follower* qui s'adapte à son partenaire en se concentrant davantage sur le tapping de l'autre que sur son propre tapping [28]. Ainsi, le *leader* présente en général une asynchronie moyenne négative alors que le *follower* a tendance à présenter une asynchronie moyenne positive [29]. Comme le rapportent Fairhurst et ses collègues (2014), la concentration sur son propre tapping ou adopter un rôle de leader permet de maintenir plus efficacement une constance élevée de la synchronisation. Cette stratégie permet d'ailleurs d'être moins facilement influencé par un partenaire qui présente une variabilité importante de la synchronisation par exemple.

L'objectif de la présente étude vise à mesurer l'impact de l'interaction sociale sur la SMS et les mouvements corporels produits par des personnes présentant une MA durant l'écoute de séquences rythmiques. Pour ce faire, la SMS du tapping de la main et la quantité de mouvements en réponse aux battements du métronome ou au rythme de la musique ont été mesurées dans le cadre d'une action conjointe entre une musicienne et un participant. Dans une condition (présence physique), la musicienne réalisait la tâche de synchronisation en face du patient. La chanteuse adoptait un rôle de leader en se synchronisant le plus précisément possible au rythme des séquences auditives afin de garantir des performances de synchronisation constantes et précises. Dans l'autre condition (présence pré-enregistrée), l'enregistrement audio-visuel de la chanteuse réalisant la même tâche était projeté en grandeur nature à la place de la musicienne. Deux tempi de présentation ont été utilisés pour les séquences sonores. L'un de 667 ms était proche du tempo moteur spontané des personnes âgées de 75 ans et plus [30], et l'autre de 800 ms était proche du tempo moteur spontané des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer [31]. Comme le montrent de précédentes études chez des enfants et des jeunes adultes [25,27], l'interaction sociale résultant de la présence physique d'un partenaire devrait augmenter la constance et diminuer l'asynchronie (ou l'anticipation) de la SMS du tapping par comparaison à sa présence pré-enregistrée tout en augmentant la production des mouvements corporels. En accord avec les données obtenues chez des patients présentant une maladie de Parkinson [11–15], ces effets devraient être amplifiés dans la condition métronome, par comparaison à la condition musique. Compte tenu des liens entre les performances de synchronisation et le tempo moteur spontané [6,30], la synchronisation devrait être plus constante avec un tempo proche du tempo moteur spontané (soit 800 ms pour notre population clinique) qu'avec un tempo plus rapide. À l'inverse, un tempo plus rapide (ou des intervalles plus courts entre les battements) devrait réduire l'asynchronie (l'anticipation) en accord avec plusieurs études [5,10,32]. Enfin,

il est attendu qu'un tempo rapide augmente la quantité de mouvements produits par comparaison à un tempo plus lent.

Méthodologie

Participants

Trente-deux personnes droitières présentant une maladie de type Alzheimer à un stade léger/modéré à sévère ont été recrutées dans un établissement pour personnes âgées (Woon- en Zorgcentrum Home Sint-Franciscus, Kluisbergen) en Belgique. Les critères d'inclusion étaient les suivants : (1) diagnostic clinique de démence probable de type Alzheimer, vasculaire ou mixte selon le Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux, 5e édition [33], (2) langue maternelle flamande pour assurer la familiarité avec les chansons pendant la tâche expérimentale, (3) pas d'antécédents psychiatriques graves, de toxicomanie ou de changements récents de médicaments psychotropes, (4) absence de troubles auditifs et/ou visuels importants et (5) capacités physiques et cognitives suffisantes pour réaliser la tâche. Six participants ont été exclus (1 pour des problèmes visuels et auditifs majeurs, 1 pour des problèmes de santé et 4 pour une production insuffisante de réponses motrices). Les données des 26 patients restants ont été analysées (M = 89 ans, ET = 4,5 ans ; 4 hommes). Tous les participants sauf cinq n'ont jamais pratiqué d'instrument de musique. L'efficacité cognitive globale et le déclin cognitif ont été évalués à l'aide du MMSE [34] réalisé au cours des six derniers mois (MMSE : M = 17,4, ET = 4,9). L'étude a reçu l'approbation du comité d'éthique local de l'Université de Gand et a été menée conformément à la Déclaration d'Helsinki de 1975. Le consentement éclairé écrit de chaque participant et d'un membre de sa famille ou d'un représentant légal a été obtenu.

Matériel et procédure

Le matériel auditif est constitué de deux types de séquences auditives, d'une durée de 60 secondes chacune. Les séquences métronomiques sont composées de battements réguliers présentés à un tempo dit 'rapide' (*Inter-Onset Interval*, IOI de 667 ms) ou 'modéré' (IOI de 800 ms). Les séquences musicales correspondent à quatre chansons néerlandaises/belges différentes très connues des personnes âgées, dont deux ont un tempo rapide (intervalle inter-beat de 667 ms) et deux ont un tempo plus lent (intervalle inter-beat de 800 ms). Les stimuli auditifs ont été

présentés à un niveau auditif confortable (75 dB) et traités par le logiciel Audacity (Free Software Inc., Boston).

Le dispositif expérimental, développé à l'Université de Gand, est composé de deux plaques de force en bois, disposées l'une en face de l'autre. Sur l'une se trouve une chaise pour le participant, équipée d'une tablette fixée sur l'accoudoir droit, qui permet de taper avec la main au rythme de la séquence auditive tout en étant confortablement installé (**Figure 1A**). Sur l'autre plaque de force se tient debout la chanteuse, face au patient avec une tablette à sa droite, posée sur un socle, qui lui permet de taper avec la main droite au rythme de la séquence auditive (**Figure 1B**). Les capteurs de mouvements placés sous la tablette du participant et sous celle de la chanteuse permettent de mesurer la SMS de la main. Les capteurs placés sous chaque plaque de force (un sous chaque coin et un sous les pieds) permettent de mesurer la quantité de mouvements.

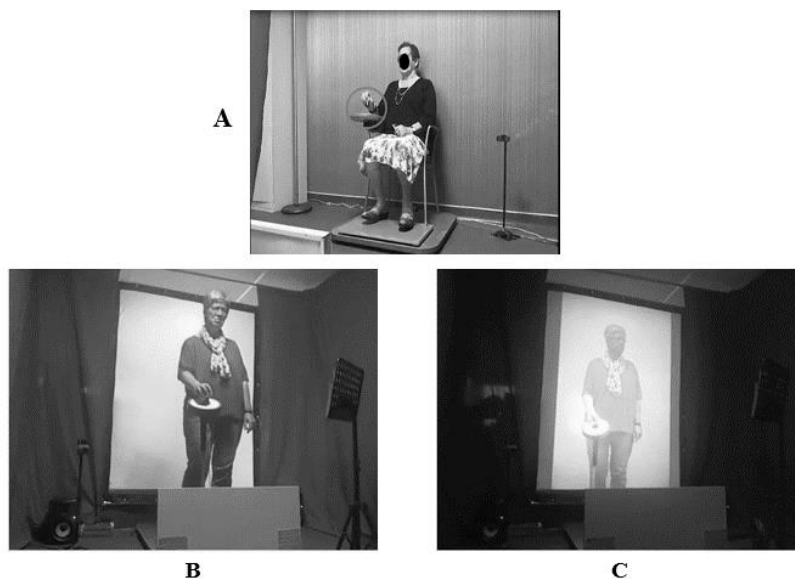


Figure 1. Illustration du dispositif expérimental. (A) Participant assis qui tape sur la tablette en réponse au rythme des séquences auditives. (B) Chanteuse debout qui tape et bouge au rythme des séquences auditives en présence physique. (C) Présentation audio-visuelle de la chanteuse debout qui réalise la même tâche en présence pré-enregistrée.

Figure 1. Illustration of the experimental setup. (A) Participant, seated, taps on the tablet in response to the rhythm of auditory sequences. (B) Singer, standing, taps and moves in response to the rhythm of auditory sequences in physical presence. (C) Audio-visual recording of the partner doing the same task.

Au cours du test, il a été demandé au participant de taper avec sa main droite au rythme des séquences sonores (métronome et musique). En condition de présence physique, la chanteuse

chantait et exécutait la tâche en même temps que le participant. La distance séparant le patient de la chanteuse était de 250 cm. En condition pré-enregistrée, la chanteuse était remplacée par un grand écran (125 cm et 165 cm) sur lequel était projeté son enregistrement en grandeur nature (distance séparant le patient de l'écran est de 270 cm). Toutes les séquences rythmiques, qu'elles soient métronomiques ($n = 2$) ou musicales ($n = 4$), ont été présentées deux fois, en présence physique et en présence pré-enregistrée. Deux webcams ont permis d'enregistrer les gestes du patient et ceux de la chanteuse pendant la tâche. Le dispositif expérimental était entouré d'un rideau qui permettait d'isoler le patient des événements distrayants. Les différentes conditions expérimentales ($n = 12$) ont été proposées dans un ordre aléatoire à chaque participant au cours d'une seule session. La moyenne des scores obtenus avec les deux chansons pour un même tempo a été calculée permettant la réalisation d'une analyse de la variance sur le facteur Auditif (séquences métronomiques vs musicales), le facteur Présence (présence physique vs pré-enregistrée de la chanteuse) et le facteur Tempo (intervalle de 667 ms vs 800 ms).

Mesures dépendantes

La SMS des participants a été analysée à l'aide de statistiques circulaires [35], permettant de contrôler les biais liés à l'ajout ou l'absence de tape, fréquents dans les populations cliniques [e.g. 19, 20, 5, 21] grâce à une boîte à outils Matlab [38] et selon une méthode développée précédemment par Desmet et ses collaborateurs [39]. Chaque tape effectuée sur la tablette est représentée sur une échelle circulaire de -180 à $+180$ degrés, l'occurrence du stimulus apparaissant à zéro. L'angle entre la tape et l'occurrence du battement permet de calculer le vecteur moyen résultant de toutes les tapes pour chaque condition [35,38]. Ce vecteur fournit deux mesures de synchronisation (**Figure 2**). La première correspondant à la *constance* de la SMS (i.e. mesure de variabilité), inversement liée à la variance circulaire, est définie par la longueur du vecteur (**Figure 2.A**). Une constance élevée correspond à un score proche de un sur une échelle de zéro à un. Avant de réaliser les analyses statistiques, une transformation logistique de la longueur du vecteur a été effectuée modifiant ainsi l'échelle des valeurs [6,25]. Les figures se rapportant aux résultats liés à la constance de la synchronisation incluent donc les moyennes transformées et celles-ci sont également présentées au **Tableau 1**. La deuxième mesure correspond à la *précision* de la SMS. Elle est définie par la direction du vecteur ou l'écart angulaire (θ) par rapport à zéro (**Figure 2.B**). Les valeurs de chaque écart angulaire ou *asynchronies signées* sont soit négatives quand le participant tape avant l'apparition du

stimulus, soit positives quand il tape après l'apparition du stimulus [6]. Les valeurs moyennes de chaque écart angulaire sont exprimées en degrés. Etant donné que notre étude implique des mesures répétées, les angles du vecteur ont été convertis en millisecondes ($\text{angle}/360^\circ * 667$ ou 800) afin d'utiliser une analyse statistique linéaire. Les valeurs rapportées sur les figures et les tableaux (**Tableau 1**) correspondent donc à des asynchronies signées, soit positives, soit négatives, en millisecondes. Le test de Rayleigh [40] a été utilisé pour s'assurer que la SMS des participants soit au-dessus du niveau du hasard (hypothèse nulle = distribution aléatoire des tapes sur l'échelle circulaire). Seules, les données significatives au test de Rayleigh ont été utilisées dans les analyses. Pour chaque condition, 64 battements par condition ont été retenus pour les analyses (les premiers et derniers battements et tapes étant supprimés).

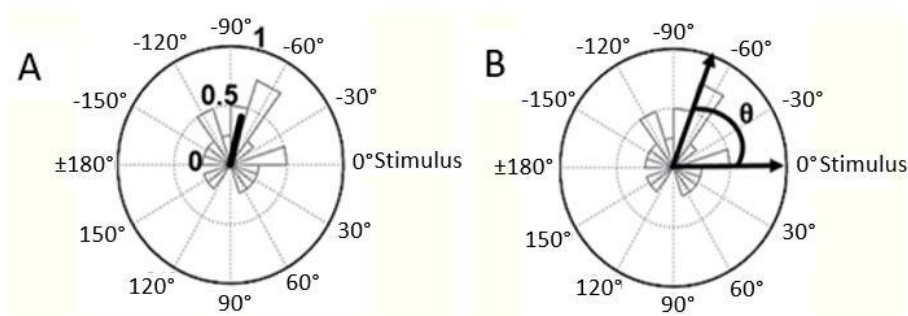


Figure 2. Exemple de mesures de synchronisation. **(A)** montre la longueur du vecteur (de 0 à 1) associée à la constance de la synchronisation. Plus la valeur est proche de 1, plus la synchronisation de la tape est régulière. **(B)** représente la direction du vecteur correspondant à la précision de la synchronisation en degrés (ou en radians). Plus le vecteur est proche de 0, plus l'asynchronie est petite et la synchronisation précise. La valeur peut être négative quand la tape se produit avant l'occurrence du stimulus et positive quand la tape survient après le stimulus.

Figure 2. Example of the synchronization measures. **(A)** shows the length of the vector (from 0 to 1) associated with consistency. The closer to 1 the vector length is, the higher the regularity of synchronization tapping. **(B)** depicts the direction of the vector corresponding to accuracy in degrees (or in radians). The closer to 0, the smaller is the asynchrony and the higher the accuracy. The value can be negative when the tap appears before the occurrence of the stimulus and positive when the tap occurs after the stimulus.

Les réponses de SMS de la chanteuse ont été également analysées. Etant donné qu'elle n'a pas produit de tape supplémentaire ou omis de tape, l'utilisation de statistiques circulaires n'était pas justifiée. La précision et la variabilité de la synchronisation correspondant respectivement à la moyenne et à l'erreur standard (SE) des asynchronies signées en millisecondes ont été analysées.

Enfin la 3^{ème} mesure analysée concerne la quantité globale de mouvements du corps (*Quantity of Motion*, QOM). Elle a été mesurée à l'aide des données recueillies avec les capteurs placés sous les plaques de force (4 capteurs pour chaque coin et 1 pour les pieds) [24,39]. Ces données brutes ont été converties en millivolts (mV) pour calculer les variations de poids exercées sur la plaque de force, ce qui donne un indicateur du QOM.

Analyses statistiques

Des ANOVA à trois mesures répétées ont été réalisées pour évaluer l'effet des facteurs Auditif (métronome vs musique), Présence de la chanteuse (physique vs pré-enregistrée), et Tempo (667 ms vs 800 ms) sur les mesures de SMS (constance et précision) et de QOM des participants. Les interactions ont été décomposées avec les tests de Fisher. Pour la chanteuse, des ANOVA à deux mesures répétées : Auditif (métronome vs musique) et Tempo (667 vs 800 ms) ont été réalisées sur les mesures de SMS et de QOM (en présence physique seulement, étant donné l'absence de variance en présence pré-enregistrée). Enfin, des tests de corrélations de Pearson ont été calculés pour analyser le lien entre les mesures de SMS et de QOM des participants en réponse au métronome (moyenne des scores pour les conditions métronomiques) et à la musique (moyenne des scores pour les conditions musicales). De plus, des tests non paramétriques de Spearman ont été réalisés afin d'évaluer le lien entre les scores obtenus en réponse au métronome et à la musique dans les différentes mesures (SMS et QOM) et l'âge, le score MMSE et l'expertise musicale. Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide de Statistica (v.13.0 ; Statistica, Statsoft).

Résultats

La constance (longueur du vecteur transformée) et la précision (asynchronies signées) ainsi que la quantité de mouvements obtenues pour chaque condition auprès de personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer ou maladies apparentées sont présentées dans le **Tableau 1**.

Tableau 1. Moyennes et erreurs standards (SE) de la constance de la synchronisation (longueur du vecteur transformée), des asynchronies signées (en ms) et de la quantité de mouvements (QOM en millivolts, mV) des participants en réponse aux séquences auditives (métronome et musique) avec un Tempo de 667 ms et de 800 ms en Présence physique et pré-enregistrée de la chanteuse.

Table 1. Means and standard error (SE) of synchronization consistency (transformed vector length), signed asynchronies (in ms) and quantity of motion (QOM in millivolt, mV) of the participants in response of auditory sequences (metronome and music) with a Tempo of 667 ms and 800 ms in physical and pre-recorded presence of the singer.

		Métronome				Musique			
		Physique		Pré-enregistrée		Physique		Pré-enregistrée	
		667	800	667	800	667	800	667	800
Constance (longueur du vecteur transformée)	<i>M</i>	1,09	0,80	1,58	1,37	0,74	0,56	0,84	1,40
	<i>SE</i>	0,21	0,23	0,23	0,22	0,14	0,11	0,19	0,26
Asynchronies signées (ms)	<i>M</i>	-7,64	-30,10	-16,90	-49,45	36,12	33,46	-24,80	-63,54
	<i>SE</i>	13,91	16,44	13,90	13,40	10,37	13,09	9,58	12,26
QOM (mV)	<i>M</i>	0,62	0,64	1,07	0,68	0,73	0,65	0,64	0,67
	<i>SE</i>	0,06	0,09	0,40	0,08	0,11	0,10	0,09	0,09

Constance de la synchronisation

Une ANOVA à trois mesures répétées 2 (Auditif) x 2 (Présence) x 2 (Tempo) réalisée sur la constance de la SMS a mis en évidence une interaction significative entre les facteurs Auditif et Tempo ($F(1,25) = 5,83$, $p = 0,023$, $\eta^2 = 0,19$). Comme le montre la **Figure 3**, les comparaisons *post hoc* ont révélé qu'avec un tempo de 667 ms, la SMS était plus constante dans la condition métronome ($M = 1,34 \pm 0,19$) que dans la condition musique ($M = 0,79 \pm 0,17$, $p < 0,001$), ce qui n'est pas le cas avec un tempo plus lent de 800 ms.

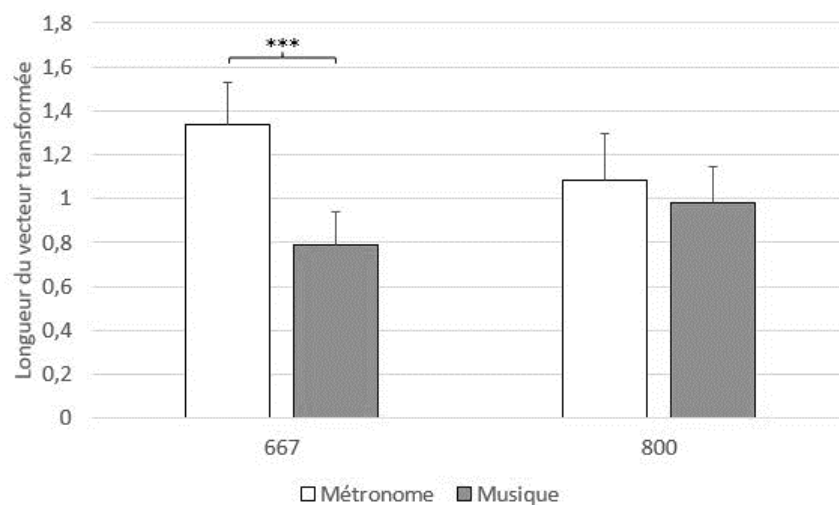


Figure 3. Constance moyenne de la synchronisation (longueur du vecteur transformée) des personnes avec une MA en fonction du type de séquences auditives (métronome et musique) présentées à un tempo de 667 ms et de 800 ms. Plus la valeur est élevée, plus la synchronisation est régulière. Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards. ***($p < 0,001$)

Figure 3. Average synchronization consistency (transformed vector length) of the persons with AD as a function of the auditory sequences (metronome and music) presented at a tempo of 667 ms and 800 ms. The higher the value, the more regular the synchronization. The error bars correspond to the standard errors. ***($p < 0,001$)

Les résultats ont également mis en évidence une interaction significative entre les facteurs Présence et Tempo sur la constance de la SMS ($F(1,25) = 6,62$, $p = 0,016$, $\eta^2 = 0,21$). Comme le présente la **Figure 4**, les comparaisons post hoc ont montré que la synchronisation était plus constante dans la condition présence pré-enregistrée que dans la condition présence physique de la chanteuse et que cette différence était plus importante avec un tempo de 800 ms ($M = 1,38 \pm 0,22$ et $M = 0,68 \pm 0,14$ respectivement, $p < 0,001$) qu'avec un tempo de 667 ms ($M = 1,21 \pm 0,17$ et $M = 0,92 \pm 0,14$ respectivement, $p < 0,05$).

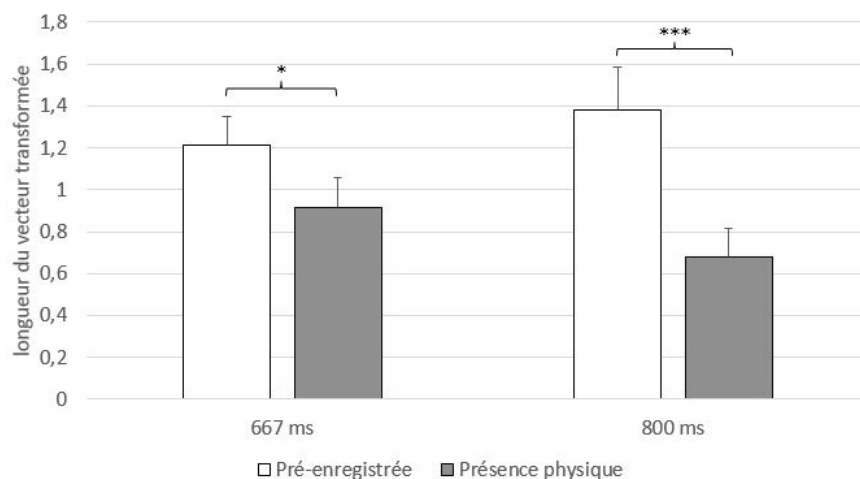


Figure 4. Constance moyenne de la synchronisation (longueur du vecteur transformée) des participants avec un tempo de 667 ms et de 800 ms en fonction de la présence physique et pré-enregistrée de la chanteuse. Plus la valeur est élevée, plus la synchronisation est régulière. Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards. ***($p < 0,001$), *($p < 0,05$)

Figure 4. Average synchronization consistency (transformed vector length) of the participants with a tempo of 667 ms and 800 ms as a function of physical and pre-recorded presence of the singer. The higher the value, the more regular the synchronization. The error bars correspond to the standard errors. ***($p < 0,001$), *($p < 0,05$)

Un effet significatif du facteur Auditif a été trouvé ($F(1,25) = 4,80$, $p = 0,038$, $\eta^2 = 0,16$) montrant que la synchronisation était plus constante dans la condition métronome ($M = 1,21 \pm 0,18$) que musique ($M = 0,88 \pm 0,15$). Enfin, un effet significatif du facteur Présence a été obtenu ($F(1,25) = 18,91$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,43$) mettant en évidence que la synchronisation

était plus constante dans la condition Présence pré-enregistrée de la chanteuse ($M = 1,30 \pm 0,18$) que dans la condition de Présence physique de celle-ci ($M = 0,80 \pm 0,13$). Enfin, l'effet du facteur Tempo et les autres interactions n'étaient pas significatifs.

Précision de la synchronisation (asynchronies signées)

Une ANOVA à trois mesures répétées 2 (Auditif) x 2 (Présence) x 2 (Tempo) réalisée sur les asynchronies signées en millisecondes a révélé une interaction significative entre les facteurs Auditif et Présence de la chanteuse ($F(1,25) = 15,90, p < 0,001, \eta^2 = 0,39$). Comme illustré sur la **Figure 5**, les comparaisons post hoc ont montré qu'avec le métronome, l'asynchronie signée n'était pas différente entre la condition pré-enregistrée et la condition présence physique de la chanteuse tandis qu'avec la musique, ces deux conditions étaient différentes ($p < 0,001$), la tape étant anticipée dans la condition pré-enregistrée ($M = -44,17 \text{ ms} \pm 8,15$) et retardée dans la condition présence physique de la chanteuse ($M = 34,79 \text{ ms} \pm 11,14$).

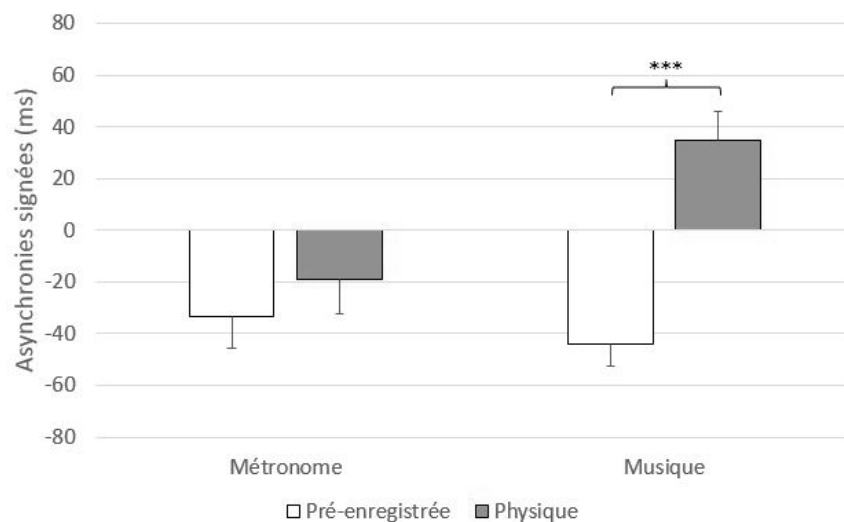


Figure 5. Asynchronies signées moyennes (en millisecondes) des participants à des séquences auditives (métronome et musique) en fonction de la présence physique et pré-enregistrée de la chanteuse. Une valeur négative correspond à une réponse anticipée alors qu'une valeur positive représente une réponse retardée. Plus la valeur est proche de 0, plus l'asynchronie est faible et la synchronisation précise. Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards. ***($p < 0,001$)

Figure 5: Mean signed asynchronies (in milliseconds) of the participants to auditory sequences (metronome and music) as a function of physical and pre-recorded presence of the singer. A negative value corresponds to an anticipated response whereas a positive value represents a delayed tap. The closer to 0, the smaller is the asynchrony and the higher the accuracy. The error bars correspond to the standard errors. ***($p < 0,001$)

Les résultats des asynchronies signées ont aussi montré un effet significatif du facteur Auditif ($F(1,25) = 4,26$, $p = 0,050$, $\eta^2 = 0,15$) mettant en évidence que l'anticipation était plus importante dans la condition métronome ($M = -26,02 \text{ ms} \pm 11,81$) que musique ($M = -4,69 \text{ ms} \pm 6,50$). Un effet significatif du facteur Présence sur les asynchronies signées a également été obtenu ($F(1,25) = 21,24$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,46$), la tape en condition pré-enregistrée de la chanteuse étant anticipée ($M = -38,67 \text{ ms} \pm 7,68$) tandis qu'elle arrive avec un peu de retard en condition présence physique de la chanteuse ($M = 7,96 \text{ ms} \pm 11,0$). Un effet significatif du facteur Tempo sur les asynchronies signées a été trouvé ($F(1,25) = 18,75$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,43$) révélant que l'anticipation était plus importante avec un tempo plus lent de 800 ms ($M = -27,41 \text{ ms} \pm 9,55$) qu'avec un tempo de 667 ms ($M = -3,30 \text{ ms} \pm 7,25$). Enfin, les autres interactions n'étaient pas significatives.

Quantité de mouvements

L'ANOVA à trois mesures répétées 2 (Auditif) x 2 (Présence) x 2 (Tempo) réalisée sur la QOM des participants n'a révélé aucune interaction ni aucun effet principal.

SMS et QOM de la chanteuse

Les moyennes et les erreurs standards (SE) des asynchronies signées ainsi que de la quantité de mouvements de la chanteuse sont présentées dans le **Tableau 2**. L'évaluation du tapping de la chanteuse met en évidence que sa synchronisation était très précise et sa tape plus retardée avec la musique que le métronome, la variabilité était très faible dans les différentes conditions. La QOM est plus importante chez la chanteuse que chez les participants.

Tableau 2. Moyennes et erreurs standards (quand disponible) des asynchronies signées (en ms) et de la quantité de mouvements (QOM en millivolts, mV) de la chanteuse en réponse aux séquences auditives (métronome et musique) avec un Tempo de 667 ms et de 800 ms en Présence physique et pré-enregistrée de la chanteuse.

Table 2. Means and standard errors (when available) of signed asynchronies (in ms) and of the quantity of motion (QOM) in millivolts (mV) of the singer in response of auditory sequences (metronome and music) with a Tempo of 667 ms and 800 ms in physical and pre-recorded presence of the singer.

		Métronome				Musique			
		Physique		Pré-enregistrée		Physique		Pré-enregistrée	
		667	800	667	800	667	800	667	800
Asynchronies	<i>M</i>	0,81	1,41	0,27	-0,25	6,57	4,91	4,93	1,58
signées (ms)	<i>SE</i>	1,27	1,23	-	-	1,70	2,43	-	-
QOM (mV)	<i>M</i>	2,60	2,10	-	-	4,72	4,70	-	-
	<i>SE</i>	0,20	0,19	-	-	0,12	0,15	-	-

Une ANOVA à deux mesures répétées 2 (Auditif) x 2 (Tempo) réalisée sur les asynchronies signées de la chanteuse en condition présence physique a révélé un effet significatif du facteur Auditif ($F(1,25) = 29,16$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,54$) mettant en évidence que les tapes étaient plus anticipées avec le métronome ($M = 1,11 \text{ ms} \pm 0,70$) qu'avec la musique ($M = 5,74 \text{ ms} \pm 0,84$). Aucun effet du facteur Tempo et aucune interaction n'a été trouvé. En condition pré-enregistrée, la SMS de la chanteuse était également très précise (voir **Tableau 2**).

Une ANOVA à deux mesures répétées 2 (Auditif) x 2 (Tempo) réalisée sur la variabilité de la synchronisation de la chanteuse en condition de présence physique a montré un effet significatif du facteur Auditif ($F(1,25) = 10,90$, $p = 0,003$, $\eta^2 = 0,30$) mettant en évidence que les SE étaient plus élevées avec la musique ($M = 2,07 \text{ ms} \pm 0,26$) qu'avec le métronome ($M = 1,25 \text{ ms} \pm 0,18$). Aucun effet du facteur Tempo et aucune interaction n'a été trouvée.

Les résultats de l'ANOVA à deux mesures répétées 2 (Auditif) x 2 (Tempo) réalisée sur la QOM de la chanteuse en condition de présence physique ont montré un effet significatif du facteur Auditif ($F(1,25) = 171,74$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,87$) mettant en évidence que la QOM était plus élevée en condition musique ($M = 4,71 \text{ mV} \pm 0,15$) qu'en condition métronome ($M = 2,35 \text{ mV} \pm 0,22$). Cependant, aucune interaction significative et aucun effet principal significatif du facteur Tempo sur la QOM n'a été trouvé. Les données du QOM en condition présence pré-enregistrée n'ont pas été obtenues.

Analyses corrélationnelles

Les tests de Pearson ont montré qu'aucune des mesures de SMS dans la condition métronome ou dans la condition musique ne corrélait avec la QOM, ni les mesures de SMS entre elles.

Les tests non paramétriques de Spearman entre les mesures de synchronisation et la QOM d'une part et l'âge, le score au MMSE, et l'expertise musicale d'autre part ont révélé que la QOM était corrélée négativement avec l'âge des participants tant avec le métronome ($r(24) = -0,46$, $p = 0,019$) qu'avec la musique ($r(24) = -0,48$, $p = 0,014$). Les autres corrélations entre les mesures de SMS et l'âge, le score au MMSE, et l'expertise musicale ou entre le QOM et le score au MMSE, et l'expertise musicale ne sont pas significatives.

Discussion

Le but de cette étude était d'examiner l'influence du contexte social et du tempo sur la synchronisation du tapping de la main et sur la quantité de mouvements corporels produits en réponse aux battements du métronome et au rythme de la musique chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer ou de maladies apparentées.

Nos résultats montrent que le contexte social influence la performance de SMS des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. Ils sont en accord avec ceux obtenus chez des enfants et des jeunes adultes [25,27], confirmant l'importance de l'interaction sociale sur la synchronisation des mouvements dans le vieillissement pathologique. Cependant, au lieu d'augmenter la constance de la synchronisation comme le suggèrent certains auteurs [25], la présence physique de la chanteuse diminue la constance dans notre étude tout en réduisant l'anticipation (i.e. asynchronie négative) par comparaison à un enregistrement. L'attention des participants portée à leur propre tapping ainsi que leurs difficultés à s'adapter aux mouvements de la chanteuse peuvent expliquer la divergence de résultats au niveau de la constance de la synchronisation. En présence physique de la chanteuse, l'attention du participant est attirée par celle-ci et le conduit à adapter ses mouvements à ceux de la chanteuse. L'attention du participant est alors divisée entre son tapping et celui de la chanteuse. Or, dans la condition de présence pré-enregistrée de la chanteuse, l'attention du participant est moins attirée par la chanteuse ce qui lui permet de se concentrer davantage sur son propre tapping que dans la condition de présence physique de la chanteuse. Fairhurst et collaborateurs [28] ont mis en évidence que la constance de la SMS était plus élevée en se concentrant sur son propre tapping

plutôt qu'en s'adaptant à celui de son partenaire. Ainsi, l'attention divisée entre le tapping du participant et celui de la chanteuse dans la condition de présence physique réduit la constance de la SMS par comparaison à la condition pré-enregistrée où le participant peut se concentrer sur son propre tapping.

Bien que plusieurs études ont montré que le mécanisme d'adaptation du tapping à celui d'un partenaire ou d'un rythme musical permet de réduire l'asynchronie [4,41], ce processus pourrait être difficile à réaliser pour des personnes présentant une MA compte tenu de leur déclin cognitif et de l'atteinte de leurs fonctions attentionnelles [42,43]. En effet, l'asynchronie n'est pas améliorée en présence physique de la chanteuse par comparaison à la présence pré-enregistrée de celle-ci. Cependant, la tape précédant celle de la chanteuse (et du battement) dans la condition pré-enregistrée est retardée en présence physique de la chanteuse. Ce changement de direction de l'asynchronie met en évidence l'adaptation des participants aux tapes de la chanteuse lors de la condition de présence physique de la chanteuse. En effet, une étude a montré que l'adaptation au tapping du partenaire est associée à des asynchronies positives alors qu'une personne qui se concentre sur son propre tapping ou qui agit comme leader (comme la chanteuse dans cette étude) présente des asynchronies négatives ou des tapes qui précèdent celles du partenaire [29]. Par conséquent, la présence physique de la chanteuse entraîne une adaptation du tapping des participants à celui de la chanteuse réduisant ainsi la constance de la synchronisation et l'anticipation (ou l'asynchronie négative) des participants par comparaison à la condition pré-enregistrée où le participant et la chanteuse sont concentrés sur leur propre tapping.

Nos résultats ont également mis en évidence que la SMS des participants et de la chanteuse en réponse au métronome était plus constante et plus anticipée que la SMS en réponse à la musique. Ces résultats convergent avec ceux obtenus avec de jeunes adultes [5–7] et des personnes atteintes de la maladie de Parkinson [13] démontrant que la complexité du rythme musical diminuait la constance et l'anticipation de la SMS par comparaison au métronome. Cependant, la SMS était plus précise dans la condition musique que métronome. La différence entre ces deux séquences auditives est que la musique présente une métrique au contraire du métronome. Comme la tâche consistait à synchroniser sa tape avec les battements forts de la musique, cela implique la perception de la métrique dans le rythme de la musique. Bien que l'action conjointe avec la chanteuse pourrait avoir aidé le participant dans ce processus, la perception de la métrique permettrait de diviser l'intervalle entre les battements forts en des intervalles plus courts, réduisant ainsi l'asynchronie négative par comparaison au métronome [5,9,10].

Les analyses ont également montré que la présence physique de la chanteuse a un impact plus important sur la précision de la synchronisation dans la condition musicale que dans la condition métronome. Lors de la synchronisation au rythme musical, la tape du participant arrive avec retard en présence physique de la chanteuse (asynchronie positive) alors qu'elle précède le battement en présence pré-enregistrée de la chanteuse (asynchronie négative). En revanche, la tape précède les battements du métronome tant en présence physique que pré-enregistrée de la chanteuse. Cette différence de résultats entre les conditions musicales et métronomiques montre que l'attention des participants portée à la chanteuse en présence physique est plus élevée durant l'écoute de musique que du métronome. Cette attention à la chanteuse diminuerait ainsi plus l'anticipation des battements avec la musique qu'avec le métronome. Par conséquent, les patients semblent plus sensibles à l'interaction sociale suscitée par l'action conjointe réalisée durant l'écoute d'une séquence musicale complexe et stimulante, qu'à l'interaction sociale engagée par la même tâche durant l'écoute d'un rythme simple et régulier, voire monotone, de la séquence métronomique comme le rapportent Stupacher et ses collaborateurs [44]. Selon ces auteurs, la synchronisation interpersonnelle au rythme de la musique augmentait la sympathie envers l'autre quand les deux personnes agissaient de manière synchrone par comparaison à une situation d'asynchronie. En revanche, cet effet n'avait pas été trouvé avec le métronome. Dans ce contexte musical stimulant et vraisemblablement agréable, la présence physique d'un partenaire a plus d'impact que sa présence pré-enregistrée sur la synchronisation et l'attention du participant. Comme le montre une étude précédente [27], l'asynchronie entre des pianistes était moins grande en présence physique qu'avec un enregistrement du partenaire suggérant que le participant a plus tendance à s'adapter à un partenaire physiquement présent qu'à un enregistrement. L'attention ainsi portée à la chanteuse en présence physique conduirait le participant à suivre les mouvements de la chanteuse et à retarder sa tape alors qu'elle précéderait celle de la chanteuse dans la condition pré-enregistrée.

La différence de résultat au niveau de l'effet du contexte social entre les conditions métronomiques et musicales peut également être liée à la complexité rythmique de la musique. Comme la synchronisation au rythme de la musique demande plus de ressources cognitives pour identifier et anticiper le battement fort que la synchronisation aux beats du métronome [6,8,45], l'influence de la présence physique de la chanteuse sur l'attention du participant l'amènerait à développer une stratégie différente de synchronisation au rythme de la musique par comparaison à la condition pré-enregistrée. En suivant les mouvements de la chanteuse (*leader* avec des performances élevées de SMS) plutôt qu'en identifiant les battements forts

dans le rythme de la musique, les participants (en rôle de *followers*) réduiraient l'effort cognitif lié à la perception du beat et à la prédiction temporelle comme le suggèrent certaines études [36,46]. Cet effet sur les asynchronies signées serait plus important en présence physique qu'en présence pré-enregistrée de la chanteuse car la condition de présence physique permettrait à la chanteuse et au participant d'interagir non verbalement (contact visuel ou expressions faciales par exemple) en favorisant l'adaptation bidirectionnelle des comportements [27]. En revanche, dans la condition pré-enregistrée, le participant se trouve face à l'enregistrement où il n'y a pas d'interaction sociale pour faciliter la synchronisation. Par conséquent, bien que la présence physique de la chanteuse diminue la constance de la synchronisation et l'anticipation des battements forts de la musique, elle pourrait aider le patient à réduire les ressources cognitives liées à la détection et l'anticipation des battements dans le rythme de la musique en favorisant l'interaction sociale par comparaison à la condition pré-enregistrée.

La précision de synchronisation du tapping des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer est également influencée par le tempo. Ainsi, il apparaît que plus le tempo s'approche du tempo moteur spontané (intervalle de 667 ms), plus l'anticipation et l'asynchronie diminuent, confirmant les résultats de plusieurs études [5,32]. Nos résultats montrent également que l'impact de la présence d'un partenaire sur la constance de la SMS est plus important avec un tempo lent (intervalle de 800 ms) qu'avec un tempo plus rapide (intervalle de 667 ms). L'effet du contexte social dans ce tempo lent permettrait au participant de porter son attention davantage à la chanteuse qu'avec un tempo plus rapide. L'intervalle de 800 ms pourrait ainsi favoriser l'impact de l'interaction sociale sur la SMS au rythme de séquences auditives.

Le tempo influence la constance de la synchronisation, mais de manière différente avec le métronome et avec la musique. Alors qu'un intervalle de 800 ms n'entraîne pas de différence de performances entre la synchronisation avec la musique et le métronome, l'intervalle de 667 ms diminue la constance de la synchronisation avec la musique par comparaison à celle du métronome. Cependant, l'effet du tempo sur la SMS ne module pas la précision de la SMS en fonction des séquences auditives. Ainsi, les deux mesures de synchronisation semblent être influencées différemment par le tempo en fonction des séquences auditives. Il est possible que la métrique manipulée dans les séquences musicales ait influencé ces résultats (cf. analyse complémentaire).

L'effet du tempo sur la synchronisation est néanmoins à mettre en relation avec le tempo moteur spontané. Selon la théorie du *Dynamic Attending* [47,48], l'individu se synchronise plus aisément à un tempo proche de son rythme interne. Plusieurs études ont d'ailleurs mis en

évidence que le tempo interne se synchronise plus facilement avec une séquence rythmique présentant un tempo similaire à ce tempo moteur spontané [6,49]. Selon Rabinowitz et ses collaborateurs, le tempo moteur spontané des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer serait de 747 ms [31]. Ce tempo proche de 800 ms pourrait alors faciliter le processus de synchronisation de ces personnes. Toutefois, la divergence de résultats entre les mesures de synchronisation avec le métronome et la musique demande un examen plus détaillé du lien entre le tempo moteur spontané et les performances de synchronisation au rythme de la musique chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer.

Contrairement à nos hypothèses, la QOM des participants n'a pas été influencée par les différents facteurs manipulés ici. Nous n'avons pas été en mesure de confirmer l'effet de la musique et/ou de l'action conjointe en présence physique de la chanteuse sur la production spontanée de comportements moteurs liés au rythme de la musique dans la maladie d'Alzheimer comme suggéré par de précédentes études [22–24]. Cependant, la sévérité de la maladie pourrait avoir réduit la QOM de manière générale chez les participants de cette étude. Plusieurs études rapportent que la maladie d'Alzheimer, particulièrement dans les stades avancés, a un impact sur la réponse motrice [50]. Par exemple, la vitesse du tapping [51,52] et de la marche [53] de même que le contrôle moteur [54] diminuent avec le déclin cognitif dans la MA. Or, les participants de cette étude présentent un déclin cognitif important ainsi qu'une autonomie limitée, raison pour laquelle ils vivent en maison de repos. Cependant, la perte d'autonomie serait d'autant plus liée à la réduction du contrôle moteur [51]. Par conséquent, la faible QOM causée par la maladie pourrait avoir réduit l'influence des différents facteurs auprès des participants.

Bien que nous n'avons pas trouvé de lien entre le déclin cognitif (MMSE) et la QOM, nos résultats mettent en évidence que la QOM des participants en réponse au métronome et à la musique se réduit avec l'âge. Le déclin des fonctions motrices avec l'âge est bien connu [55–57]. De plus, la réduction de la réponse motrice spontanée à la musique avec l'âge a d'ailleurs été rapportée auparavant [58]. Par conséquent, l'avancée en âge mais aussi la progression de la maladie d'Alzheimer associées à une perte d'autonomie pourraient réduire la production de mouvements spontanés. Une comparaison des réponses comportementales à la musique présentant un vieillissement physiologique et pathologique permettrait de vérifier l'influence de la maladie sur ces comportements produits lors de la synchronisation au rythme de la musique.

Conclusion

L'objectif de cette étude était d'examiner l'effet de la présence physique d'autrui ou de sa présence pré-enregistrée sur la synchronisation et la quantité de mouvements produits en réponse au rythme de la musique et du métronome chez des personnes atteintes de la MA ou de maladies apparentées à des stades modérés à sévères. Nos résultats montrent que l'action conjointe de la chanteuse en présence physique détourne plus l'attention des participants à la tâche que l'enregistrement audio-visuel diminuant ainsi la constance et l'anticipation de la synchronisation. Cet effet était plus important avec la musique que le métronome. De plus, l'effet du contexte social sur la constance était plus important avec un tempo lent qu'avec un tempo plus rapide. Aucun de ces facteurs n'influence toutefois la quantité de mouvements. Seul l'âge semblait influencer la quantité de mouvements, la production spontanée de mouvements en réponse à la musique et au métronome diminuant avec l'âge. Cette recherche contribue à la connaissance des facteurs modulant l'activité de synchronisation au rythme de la musique dans la maladie d'Alzheimer. L'étude en particulier de l'action conjointe de synchronisation au rythme de la musique en présence physique d'un partenaire démontre que l'interaction sociale peut moduler le couplage audio-moteur à l'écoute de musique chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer.

Remerciements : Cette recherche a été réalisée grâce au soutien du Conseil Régional des Hauts-de-France et l'Université de Lille à M.G., du Ministère des Affaires Etrangères (partenariat Hubert Curien) à S.S. et à M.L. ainsi que l'Institut Universitaire de France à S.S. Les auteurs souhaitent remercier également Ivan Schepers de l'Université de Gand pour le développement du matériel. Nous sommes spécialement reconnaissants à Linda Vanderstichele, musicienne ayant participé au déroulement de l'étude, au personnel du WZC St. Franciscus à Kluisbergen, et aux participants qui ont accepté de prendre part à cette étude.

Liens d'intérêts : Les auteurs déclarent ne pas avoir de lien en rapport avec cet article.

Références

1. Drake C, Penel A, Bigand E. Tapping in Time with Mechanically and Expressively Performed Music. *Music Percept* 2000 ; 18 : 1–23.
2. Janata P, Tomic ST, Haberman JM. Sensorimotor coupling in music and the psychology of the groove. *J Exp Psychol Gen* 2012 ; 141 : 54–75.

3. Repp BH. Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature. *Psychon Bull Rev* 2005 ; 12 : 969–992.
4. Repp BH, Su Y-H. Sensorimotor synchronization: A review of recent research (2006–2012). *Psychon Bull Rev* 2013 ; 20 : 403–452.
5. Aschersleben G. Temporal Control of Movements in Sensorimotor Synchronization. *Brain and Cognition* 2002 ; 48 : 66–79.
6. Sowiński J, Dalla Bella S. Poor synchronization to the beat may result from deficient auditory-motor mapping. *Neuropsychologia* 2013 ; 51 : 1952–1963.
7. Dalla Bella S, Farrugia N, Benoit C-E, *et al.* BAASTA: Battery for the Assessment of Auditory Sensorimotor and Timing Abilities. *Behav Res* 2017 ; 49 : 1128–1145.
8. Chen JL, Penhune VB, Zatorre RJ. Moving on Time: Brain Network for Auditory-Motor Synchronization is Modulated by Rhythm Complexity and Musical Training. *Journal of Cognitive Neuroscience* 2008 ; 20 : 226–239.
9. Thaut MH, Rathbun JA, Miller RA. Music versus metronome timekeeper in a rhythmic motor task. *International Journal of Arts Medicine* 1997 ; 5 : 4–12.
10. Madison G. Sensori-motor synchronisation variability decreases as the number of metrical levels in the stimulus signal increases. *Acta Psychologica* 2014 ; 147 : 10–16.
11. Merchant H, Luciana M, Hooper C, Majestic S, Tuite P. Interval timing and Parkinson’s disease: heterogeneity in temporal performance. *Exp Brain Res* 2008 ; 184 : 233–248.
12. Jones CRG, Claassen D, Yu M, *et al.* Modeling Accuracy and Variability of Motor Timing in Treated and Untreated Parkinson’s Disease and Healthy Controls. *Front Integr Neurosci* 2011 ; 5 : 81.
13. Benoit C-E, Dalla Bella S, Farrugia N, Obrig H, Mainka S, Kotz SA. Musically Cued Gait-Training Improves Both Perceptual and Motor Timing in Parkinson’s Disease. *Front Hum Neurosci* 2014 ; 8 : 494.
14. Bieńkiewicz MMN, Craig CM. Parkinson’s Is Time on Your Side? Evidence for Difficulties with Sensorimotor Synchronization. *Front Neurol* 2015 ; 6 : 249.
15. Cochen De Cock V, Dotov DG, Ihalainen P, *et al.* Rhythmic abilities and musical training in Parkinson’s disease: do they help? *Npj Parkinson’s Disease* 2018 ; 4 : 8.
16. Bangert AS, Balota DA. Keep Up the Pace: Declines in Simple Repetitive Timing Differentiate Healthy Aging from the Earliest Stages of Alzheimer’s Disease. *Journal of the International Neuropsychological Society* 2012 ; 18 : 1052–1063.
17. Martin E, Blais M, Albaret J-M, Pariente J, Tallet J. Alteration of rhythmic unimanual tapping and anti-phase bimanual coordination in Alzheimer’s disease: A sign of inter-hemispheric disconnection? *Human Movement Science* 2017 ; 55 : 43–53.

18. Narme P, Clément S, Ehrlé N, *et al.* Efficacy of Musical Interventions in Dementia: Evidence from a Randomized Controlled Trial. *Journal of Alzheimer's Disease* 2014 ; 38 : 359–369.
19. Frisoni GB, Fox NC, Jack Jr CR, Scheltens P, Thompson PM. The clinical use of structural MRI in Alzheimer disease. *Nature Reviews Neurology* 2010 ; 6 : 67–77.
20. Jacobsen J-H, Stelzer J, Fritz TH, Chételat G, La Joie R, Turner R. Why musical memory can be preserved in advanced Alzheimer's disease. *Brain* 2015 ; 138 : 2438–2450.
21. King JB, Jones KG, Goldberg E, *et al.* Increased Functional Connectivity After Listening to Favored Music in Adults with Alzheimer Dementia. *J Prev Alzheimers Dis* 2019 ; 6 : 56–62.
22. Sherratt K, Thornton A, Hatton C. Emotional and behavioural responses to music in people with dementia: an observational study. *Aging & Mental Health* 2004 ; 8 : 233–241.
23. Holmes C, Knights A, Dean C, Hodkinson S, Hopkins V. Keep music live: music and the alleviation of apathy in dementia subjects. *International Psychogeriatrics* 2006 ; 18 : 623–630.
24. Lesaffre M, Moens B, Desmet F. Monitoring music and movement interaction in people with dementia. In Lesaffre M, Maes PJ, Leman M (Eds.), *The Routledge Companion to embodied music interaction*. New York: Routledge, 2017, p. 294–303.
25. Kirschner S, Tomasello M. Joint drumming: Social context facilitates synchronization in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology* 2009 ; 102 : 299–314.
26. Sebanz N, Bekkering H, Knoblich G. Joint action: bodies and minds moving together. *Trends in Cognitive Sciences* 2006 ; 10 : 70–76.
27. Demos AP, Carter DJ, Wanderley MM, Palmer C. The Unresponsive Partner: Roles of Social Status, Auditory Feedback, and Animacy in Coordination of Joint Music Performance. *Front Psychol* 2017 ; 8 : 149.
28. Fairhurst MT, Janata P, Keller PE. Leading the follower: An fMRI investigation of dynamic cooperativity and leader–follower strategies in synchronization with an adaptive virtual partner. *NeuroImage* 2014 ; 84 : 688–697.
29. Loehr JD, Palmer C. Temporal coordination between performing musicians. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 2011 ; 64 : 2153–2167.
30. McAuley JD, Jones MR, Holub S, Johnston HM, Miller NS. The Time of Our Lives: Life Span Development of Timing and Event Tracking. *Journal of Experimental Psychology: General* 2006 ; 135 : 348–367.
31. Rabinowitz I, Lavner Y. Association between Finger Tapping, Attention, Memory, and Cognitive Diagnosis in Elderly Patients. *Percept Mot Skills* 2014 ; 119 : 259–278.
32. Flach R. The transition from synchronization to continuation tapping. *Human Movement Science* 2005 ; 24 : 465–483.

33. Association AP. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5®). *American Psychiatric Pub*, 2013.
34. Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. Mini-mental state: A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*. 1975 ; 12 : 189–198.
35. Fisher NI. *Statistical Analysis of Circular Data*. Cambridge University Press, 1995.
36. Pecenka N, Keller PE. The role of temporal prediction abilities in interpersonal sensorimotor synchronization. *Exp Brain Res* 2011 ; 211 : 505–515.
37. Falk S, Müller T, Dalla Bella S. Non-verbal sensorimotor timing deficits in children and adolescents who stutter. *Front Psychol* 2015 ; 6 : 847.
38. Berens P. CircStat: A Matlab Toolbox for Circular Statistics. *Journal of Statistical Software* 2009 ; 31 : 1–21.
39. Desmet F, Lesaffre M, Six J, Ehrlé N, Samson S. Multimodal analysis of synchronization data from patients with dementia. *Proceedings of the ESCOM 2017 Conference*. 2017 ; Retrieved from <http://hdl.handle.net/1854/LU-8521738>.
40. Wilkie D. Rayleigh Test for Randomness of Circular Data. *Applied Statistics*. 1983 ; 32 : 311–312.
41. Keller PE, Novembre G, Hove MJ. Rhythm in joint action: psychological and neurophysiological mechanisms for real-time interpersonal coordination. *Philos Trans R Soc Lond, B, Biol Sci* 2014 ; 369 : 20130394.
42. Sheridan PL, Solomont J, Kowall N, Hausdorff JM. Influence of Executive Function on Locomotor Function: Divided Attention Increases Gait Variability in Alzheimer’s Disease. *Journal of the American Geriatrics Society* 2003; 51 : 1633–1637.
43. Belleville S, Chertkow H, Gauthier S. Working memory and control of attention in persons with Alzheimer’s disease and mild cognitive impairment. *Neuropsychology* 2007 ; 21 : 458–469.
44. Stupacher J, Maes P-J, Witte M, Wood G. Music strengthens prosocial effects of interpersonal synchronization – If you move in time with the beat. *Journal of Experimental Social Psychology* 2017 ; 72 : 39–44.
45. Phillips-Silver J, Toiviainen P, Gosselin N, *et al*. Born to dance but beat deaf: A new form of congenital amusia. *Neuropsychologia* 2011 ; 49 : 961–969.
46. Fairhurst MT, Janata P, Keller PE. Being and Feeling in Sync with an Adaptive Virtual Partner: Brain Mechanisms Underlying Dynamic Cooperativity. *Cereb Cortex* 2013 ; 23 : 2592–2600.
47. Jones MR. Time, our lost dimension: toward a new theory of perception, attention, and memory. *Psychol Rev* 1976 ; 83 : 323–355.

48. Large EW, Jones MR. The Dynamics of Attending: How People Track Time-Varying Events. *Psychological Review* 1999 ; 106 : 119–159.
49. Fraisse P. *The psychology of time*. Oxford, England: Harper & Row, 1963.
50. Albers MW, Gilmore GC, Kaye J, *et al.* At the interface of sensory and motor dysfunctions and Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia* 2015; 11 : 70–98.
51. Gorus E, De Raedt R, Lambert M, Lemper J-C, Mets T. Reaction Times and Performance Variability in Normal Aging, Mild Cognitive Impairment, and Alzheimer's Disease. *J Geriatr Psychiatry Neurol* 2008 ; 21 : 204–218.
52. Roalf DR, Rupert P, Mechanic-Hamilton D, *et al.* Quantitative assessment of finger tapping characteristics in mild cognitive impairment, Alzheimer's disease, and Parkinson's disease. *J Neurol* 2018 ; 265 : 1365–1375.
53. Verghese J, Wang C, Lipton RB, Holtzer R, Xue X. Quantitative gait dysfunction and risk of cognitive decline and dementia. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2007 ; 78 : 929–935.
54. Belghali M, Chastan N, Cignetti F, Davenne D, Decker LM. Loss of gait control assessed by cognitive-motor dual-tasks: pros and cons in detecting people at risk of developing Alzheimer's and Parkinson's diseases. *GeroScience* 2017 ; 39 : 305–329.
55. Smith CD, Umberger GH, Manning EL, *et al.* Critical decline in fine motor hand movements in human aging. *Neurology* 1999 ; 53 : 1458–1461.
56. Seidler RD, Bernard JA, Burutolu TB, *et al.* Motor control and aging: Links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 2010 ; 34 : 721–733.
57. Wolpe N, Ingram JN, Tsvetanov KA, *et al.* Ageing increases reliance on sensorimotor prediction through structural and functional differences in frontostriatal circuits. *Nature Communications* 2016 ; 7 : 13034.
58. Ghai S, Ghai I, Effenberg AO. Effect of Rhythmic Auditory Cueing on Aging Gait: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Aging Dis* 2018 ; 9 : 901–923.

Analyse complémentaire : Influence de la Métrique et du Tempo sur la synchronisation au rythme de la musique en présence d'une chanteuse dans la maladie d'Alzheimer

En complément des résultats de l'étude 1 rapportés dans le chapitre précédent, nous avons analysé de nouveau les données obtenues sur la synchronisation avec le rythme des chansons en ajoutant le facteur métrique (binaire et ternaire), qui concerne uniquement les conditions musicales. Cette analyse porte donc sur les conditions musicales et non sur les conditions métronomiques. Pour ce faire, les performances de synchronisation et la quantité de mouvements produits spontanément (*Quantity of Motion*, QOM) des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer (MA) ou de maladies apparentées ont été examinées en prenant en considération la métrique (binaire vs ternaire), le contexte social (présence physique vs pré-enregistrée de la chanteuse) et le tempo (667 ms vs 800 ms).

La métrique est une structure rythmique stable qui permet d'organiser les beats primaires en différents niveaux hiérarchiques (London, 2002). Les beats, correspondant en général aux noires dans une mesure, peuvent être structurés en fonction de l'accentuation d'un beat (beat fort) (Cooper & Meyer, 1960). Dans une métrique binaire, les beats sont regroupés par deux (fort-faible, fort-faible) comme dans la marche alors que dans une métrique ternaire les beats sont regroupés par trois (fort-faible-faible, fort-faible-faible) comme dans une valse. La répétition des beats forts permet ainsi à l'auditeur de percevoir la structure de la métrique de la musique et les différents niveaux hiérarchiques qui la compose. La perception de la métrique entraîne ainsi des attentes temporelles. Selon la théorie du *Dynamic Attending* (DAT, Jones, 1976; Jones & Boltz, 1989; Large & Jones, 1999), l'anticipation de l'occurrence du beat fort attire l'attention et favoriserait la synchronisation au rythme musical. Il a également été montré que la métrique est susceptible d'influencer la synchronisation au rythme de la musique (Drake, Jones, & Baruch, 2000; Chen, Penhune, & Zatorre, 2008; Toiviainen, Luck, & Thompson, 2010; Leman et al., 2013; Burger, London, Thompson, & Toiviainen, 2018). Dans notre étude 1, les participants synchronisaient leur tapping au rythme de la musique (ou plus particulièrement aux beats forts), étant alors influencés par la structure métrique de la musique.

Quelques études suggèrent que la synchronisation à une métrique binaire est plus précise que la synchronisation à une métrique ternaire (Fraisse, 1956; Povel, 1981; Drake, 1993; Collier & Wright, 1995). Comme le montrent Fujioka et al. (Fujioka, Zendel, & Ross, 2010), pour un intervalle identique entre les beats primaires, l'intervalle entre les beats forts est plus court en

métrique binaire (1:2) que ternaire (1:3) (voir partie gauche de la **Figure 1**) étant donné que la métrique binaire comprend deux intervalles alors que la métrique ternaire en comprend trois. Or, il est connu que l'asynchronie et sa variabilité augmentent avec la longueur de l'intervalle entre les stimuli (Drake, 1993; Mates, 1994; Aschersleben, 2002; Repp, 2005). Par conséquent, la synchronisation aux beats forts de la musique serait plus précise et plus constante (moins variable) avec une métrique binaire que ternaire étant donné que l'intervalle entre les beats forts est plus court avec une métrique binaire que ternaire pour un même IOI (*Inter-Onset Interval*) entre les beats primaires.

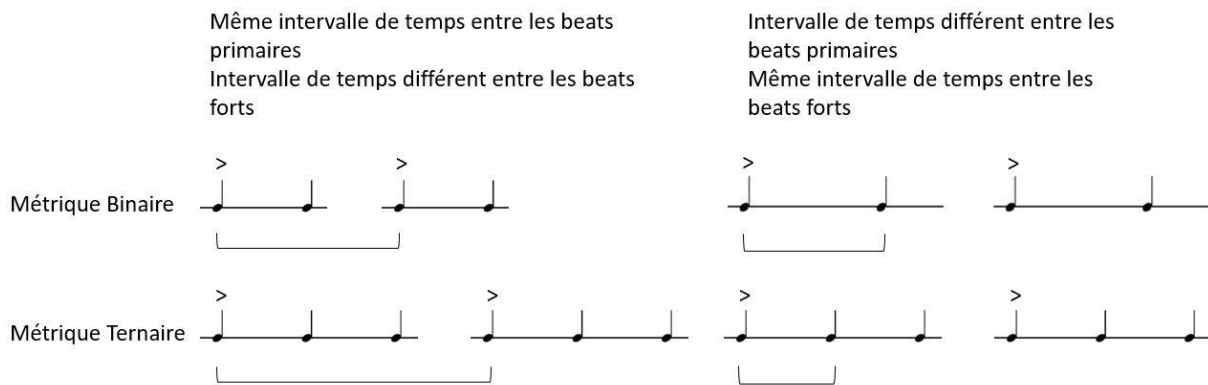


Figure 1. Intervalle de temps entre les beats primaires (IOI représentés par les noires) et les beats forts (indiqués par un >) de la métrique binaire et ternaire.

Cependant, si l'intervalle entre les beats forts est égal dans une métrique binaire et ternaire, l'intervalle entre les beats primaires est plus court en métrique ternaire que binaire. Par conséquent, il est attendu dans ce cas que l'asynchronie et sa variabilité diminuent plus en métrique ternaire que binaire. Comme la synchronisation au rythme de la musique s'effectue sur les beats forts dans notre étude, la métrique binaire pourrait influencer différemment la synchronisation par comparaison à la métrique ternaire pour un même intervalle entre les beats forts. Une étude met d'ailleurs en évidence cette différence sur l'asynchronie et la variabilité de la synchronisation (Madison, 2014). Par exemple, dans cette étude, il est montré que la variabilité de la synchronisation est plus faible avec une métrique ternaire que binaire pour un même intervalle entre les beats forts. Cependant, cet effet dépend de la longueur des intervalles. Cette étude suggère donc que subdiviser les intervalles entre les beats permet de réduire la variabilité de la synchronisation. D'autres études montrent également que subdiviser les intervalles entre les beats peut réduire l'asynchronie négative (ou l'anticipation) et sa variabilité (Aschersleben, 2002; Flach, 2005). Repp (2003) précisait toutefois que la variabilité augmente quand l'intervalle entre les beats est inférieur à 250 millisecondes. Par conséquent, la longueur

de l'intervalle entre les beats primaires de la métrique a une influence sur la précision et la variabilité de la synchronisation. Dès lors, si l'intervalle de temps qui sépare les beats forts est le même entre une métrique binaire et ternaire, la synchronisation devrait être plus précise et moins variable en métrique ternaire que binaire car la métrique ternaire présente des subdivisions entre les beats forts plus courtes que dans la métrique binaire (partie droite de la **Figure 1**).

Le tempo influence également la performance de synchronisation chez les personnes atteintes de la MA comme nous l'avons vu dans les résultats précédents (**étude 1, chapitre 4**) mettant en évidence que la synchronisation à un tempo de 667 ms (entre les beats forts) entraîne moins d'asynchronie et moins d'anticipation que la synchronisation à un tempo plus lent de 800 ms. Toutefois, cet effet a été obtenu à travers les conditions métronomiques et musicales en moyennant les scores issus des extraits musicaux avec un même intervalle entre les beats forts que la métrique soit binaire ou ternaire. Ainsi, il est attendu que la métrique de la musique interagissant avec le tempo en modula la synchronisation au rythme de la musique.

Comme l'illustre la **Figure 2**, dans notre étude 1, nous avons utilisé quatre chansons, deux avec un tempo plus rapide (intervalle de 667 ms entre les beats forts) et deux avec un tempo plus lent (intervalle de 800 ms entre les beats forts) et pour chaque tempo, une chanson avait une métrique binaire et l'autre une métrique ternaire. A chaque fois, la tâche a été réalisée en synchronisant le tapping sur le beat fort en présence physique ou pré-enregistrée de la chanteuse.

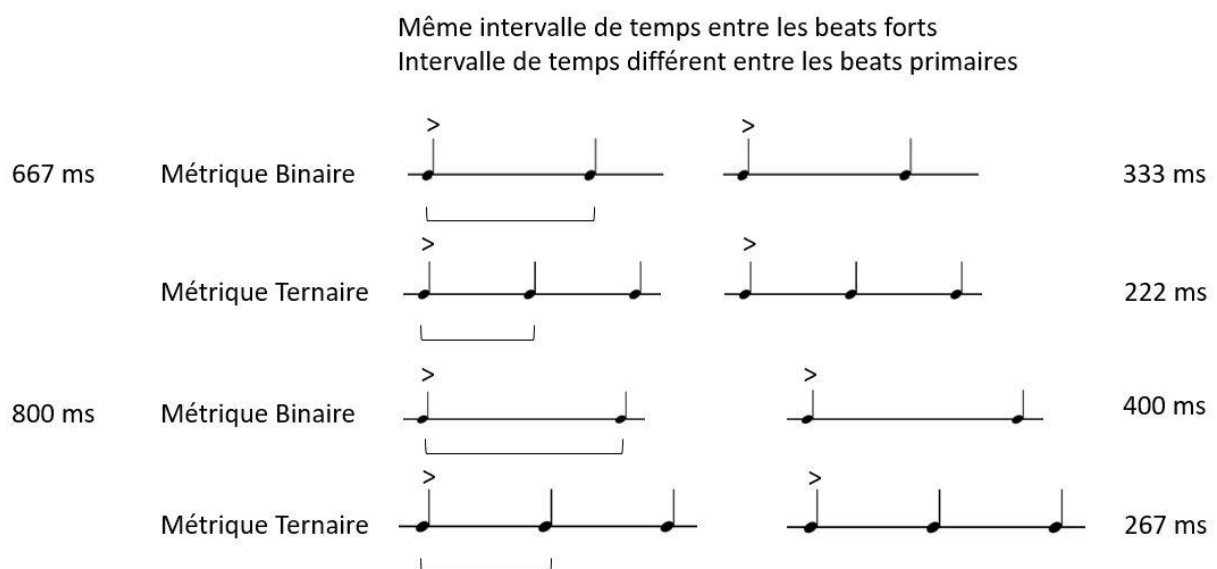


Figure 2. Intervalle entre les beats primaires (tempo) et entre les beats forts (métrique binaire et ternaire) des quatre chansons utilisées dans l'étude 1.

Sur la base des résultats rapportés dans le chapitre précédent, la synchronisation devrait être plus précise (moins anticipée) avec un intervalle de 667 ms que de 800 ms entre les beats forts.

Etant donné que l'intervalle entre les beats forts (tempo) est constant, nous nous attendons à ce que la synchronisation soit plus constante et plus précise (moins anticipée) en métrique ternaire que binaire. Cette différence entre la métrique ternaire et binaire est néanmoins attendue pour l'intervalle de 800 ms entre les beats forts mais pas pour l'intervalle de 667 ms. En effet, l'intervalle de 667 ms en métrique ternaire présente un IOI de 222 ms (c'est-à-dire inférieur à la limite établie par Repp, 2003) réduisant la constance de la synchronisation.

En termes d'activité motrice, nous n'avons trouvé aucun effet significatif des séquences auditives, ni du tempo sur la QOM dans l'étude 1. Cependant, la métrique pourrait influencer ces résultats. En effet, plusieurs études rapportent que le mouvement est influencé par la métrique (Toiviainen et al., 2010; Leman et al., 2013; Burger et al., 2018). L'analyse de la métrique dans les conditions musicales permettrait ainsi de mettre en évidence un effet des caractéristiques temporelles sur les réponses motrices spontanées en réponse à la musique chez les personnes présentant une maladie d'Alzheimer. Enfin, comme nous l'avons démontré dans le chapitre précédent, des effets et/ou interactions avec le contexte social sont attendus également sur les différentes mesures.

Analyses statistiques

Dans cette analyse complémentaire, nous avons réalisé des ANOVA à mesures répétées à trois facteurs : Présence (présence physique et pré-enregistrée de la chanteuse), Tempo (667 ms et 800 ms entre les beats forts) et Métrique (binaire et ternaire) sur les performances de synchronisation et la QOM dans une tâche de synchronisation au rythme de la musique. Les interactions ont été décomposées avec les tests de Fisher. Des tests de corrélations de Pearson ont permis d'analyser le lien entre les mesures de SMS et de QOM des participants en réponse à la musique (moyenne des scores pour les conditions musicales). De plus, d'autres tests de Pearson ont été réalisés afin d'évaluer le lien entre les scores obtenus en réponse à la musique dans les différentes mesures (SMS et QOM) et l'âge et le score MMSE. Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide de Statistica (v.13.0 ; Statistica, Statsoft).

Résultats

Les moyennes (M) et erreurs standards (SE) de la constance et des asynchronies signées de la synchronisation ainsi que de la QOM obtenues dans les différentes conditions musicales sont présentées à la **Table 1**.

Le test de Rayleigh appliqué sur le vecteur R a été utilisé pour s'assurer que la SMS des participants soit au-dessus du niveau du hasard (hypothèse nulle = distribution aléatoire des tapes sur l'échelle circulaire). Les résultats sont néanmoins non-significatifs pour cinq participants montrant une constance et une précision réduite dans la condition tempo de 667 ms en métrique ternaire (IOI de 222 ms entre beats primaires) en présence pré-enregistrée de la chanteuse. Ceci met en évidence les limites de performances de synchronisation pour les intervalles inférieurs à 250 ms entre les beats primaires comme suggéré par Repp (2003). Dans cette analyse complémentaire, nous avons inclus néanmoins les valeurs réelles de ces participants pour les différentes chansons afin de mettre en évidence l'influence des caractéristiques des différentes chansons sur la synchronisation chez des personnes atteintes de la MA.

Table 1. Constance de la synchronisation (longueur du vecteur transformée), asynchronies signées (en ms) et quantité de mouvements (QOM en millivolts, mV) des participants produits en réponse à la musique en Présence physique et pré-enregistrée de la chanteuse avec un Tempo de 667 ms et de 800 ms en Métrique binaire et ternaire ($M \pm SE$).

Conditions		Constance		Asynchronies		QOM	
		M	SE	M	SE	M	SE
<i>Physique</i>							
667 ms	Binaire	.64	.13	9.81	12.38	.72	.10
	Ternaire	.84	.19	62.44	11.63	.73	.12
800 ms	Binaire	.49	.13	5.14	15.73	.64	.11
	Ternaire	.63	.13	61.78	14.10	.66	.10
<i>Pré-enregistrée</i>							
667 ms	Binaire	.91	.18	-32.83	12.34	.66	.08
	Ternaire	.41	.34	-18.78	15.78	.67	.11
800 ms	Binaire	.71	.23	-30.61	16.05	.65	.09
	Ternaire	2.09	.35	-96.47	18.83	.67	.09

Constance de la SMS

Une ANOVA à mesures répétées à trois facteurs 2 (Présence) x 2 (Tempo) x 2 (Métrique) réalisée sur la constance de la SMS a mis en évidence une interaction significative entre les facteurs Présence, Tempo (intervalle entre les beats forts) et Métrique ($F(1, 25) = 12,92, p =$

0,001, $\eta p^2 = 0,34$). Par conséquent, l'interaction de ces trois facteurs a été décomposée en une analyse des facteurs 2 (Présence) x 2 (Métrique) en fonction du tempo de 667 ms et de 800 ms de manière séparée. Pour le tempo de 667 ms, l'ANOVA n'a révélé aucune interaction ni aucun effet principal (**Figure 3**).

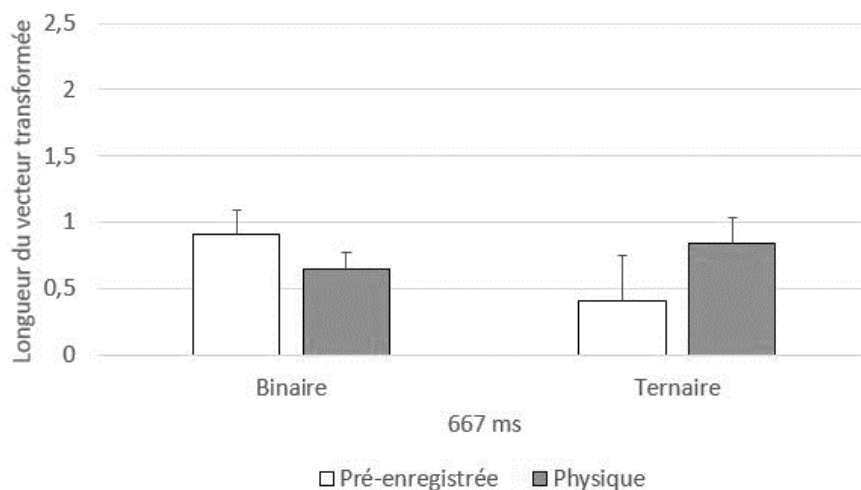


Figure 3. Constance moyenne de la synchronisation (longueur du vecteur transformée) avec un intervalle de 667 ms entre les beats forts en Métrique binaire et ternaire en fonction de la Présence physique et pré-enregistrée de la chanteuse. Plus la valeur est élevée, plus la synchronisation est régulière. Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards.

En revanche, pour le tempo de 800 ms, l'ANOVA a mis en évidence une interaction significative entre les facteurs Présence et Métrique sur la constance de la SMS ($F(1, 25) = 21,11$, $p < 0,001$, $\eta p^2 = 0,46$). Comme l'illustre la **Figure 4**, les comparaisons *post hoc* ont montré que la SMS était plus constante dans la condition présence pré-enregistrée ($M = 2,09 \pm 0,35$) que dans la condition présence physique du chanteur ($M = 0,63 \pm 0,13$) avec un intervalle de 800 ms en métrique ternaire ($p < 0,001$) mais pas en métrique binaire.

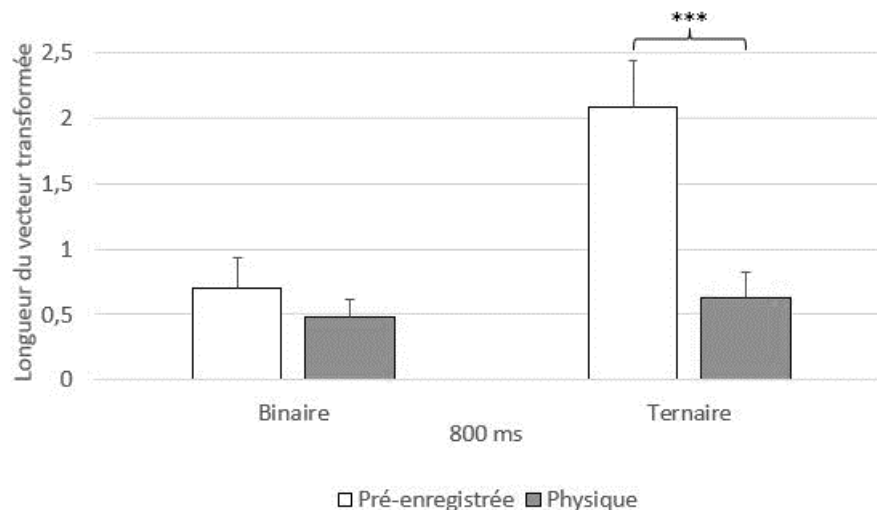


Figure 4. Constance moyenne de la synchronisation (longueur du vecteur transformée) avec un intervalle de 800 ms entre les beats forts en Métrique binaire et ternaire en fonction de la Présence physique et pré-enregistrée de la chanteuse. Plus la valeur est élevée, plus la synchronisation est régulière. Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards. *** ($p < 0,001$)

Les résultats avec le tempo de 800 ms ont également mis en évidence un effet significatif du facteur Présence ($F(1,25) = 13,51, p = 0,001, \eta p^2 = 0,35$) montrant que la constance de la synchronisation était plus élevée dans la condition présence pré-enregistrée ($M = 1,40 \pm 0,26$) qu'en présence physique du chanteur ($M = 0,56 \pm 0,11$). Un effet significatif du facteur Métrique a aussi été obtenu ($F(1,25) = 21,76, p < 0,001, \eta p^2 = 0,47$) révélant que la synchronisation était plus constante en métrique ternaire ($M = 1,36 \pm 0,21$) que binaire ($M = 0,60 \pm 0,16$) avec un tempo de 800 ms.

Précision de la SMS (asynchronies signées)

Une ANOVA à mesures répétées à trois facteurs 2 (Présence) x 2 (Tempo) x 2 (Métrique) réalisée sur les asynchronies signées a mis en évidence une interaction significative entre les facteurs Présence, Tempo et Métrique ($F(1,25) = 5,46, p = 0,028, \eta p^2 = 0,18$). Comme pour la constance de la SMS, l'interaction de ces trois facteurs a été décomposée en une analyse des facteurs 2 (Présence) x 2 (Métrique) en fonction du tempo de 667 ms et de 800 ms de manière séparée.

Pour le tempo de 667 ms, l'ANOVA a révélé un effet significatif du facteur Présence sur les asynchronies signées ($F(1,25) = 13,02, p = 0,001, \eta p^2 = 0,34$) montrant que la précision était

différente entre la condition pré-enregistrée où la tape était anticipée ($M = -25,80 \text{ ms} \pm 9,96$) tandis qu'elle arrivait avec du retard en condition présence physique de la chanteuse ($M = 36,12 \text{ ms} \pm 10,37$). Un effet significatif du facteur Métrique a aussi été obtenu sur les asynchronies signées ($F(1,25) = 7,26, p = 0,012, \eta p^2 = 0,23$) mettant en évidence que la tape en métrique binaire était anticipée ($M = -11,51 \pm 9,01$) alors que la tape arrivait avec du retard en métrique ternaire ($M = 21,83 \pm 7,40$) avec un tempo de 667 ms. Il n'y avait pas d'interaction significative entre les facteurs Présence et Métrique pour le tempo de 667 ms (**Figure 5**).

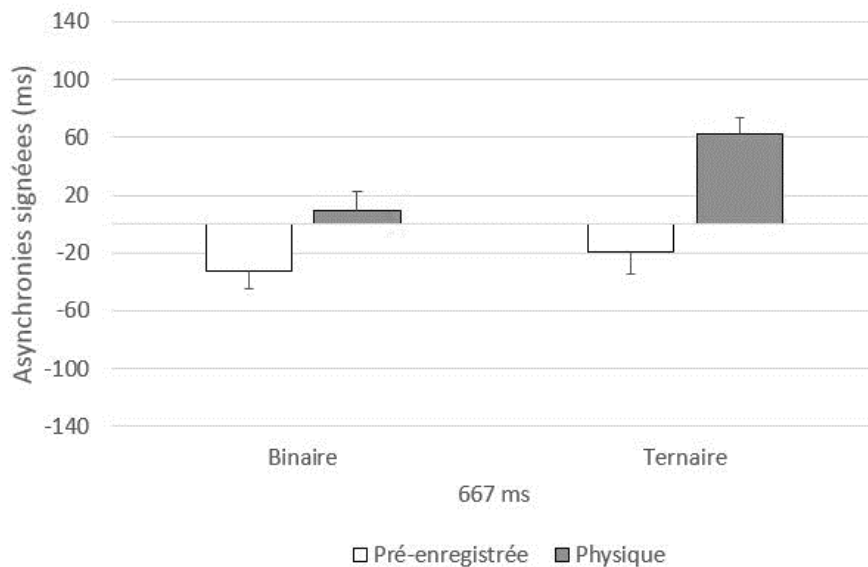


Figure 5. Asynchronies signées moyennes (en ms) avec un intervalle de 667 ms entre les beats forts en Métrique binaire et ternaire en fonction de la Présence physique et pré-enregistrée de la chanteuse. Une valeur négative correspond à une réponse anticipée alors qu'une valeur positive représente une réponse retardée. Plus l'asynchronie est proche de 0, plus la synchronisation est précise. Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards.

Pour le tempo de 800 ms, l'ANOVA a mis en évidence une interaction significative entre les facteurs Présence et Métrique ($F(1, 25) = 23,11, p < 0,001, \eta p^2 = 0,48$). Comme le présente la **Figure 6**, les comparaisons post hoc ont mis en évidence un effet de la Présence en métrique ternaire ($p < 0,001$), la précision étant anticipée en condition pré-enregistrée ($M = -96,47 \text{ ms} \pm 18,83$) et retardée en condition présence physique de la chanteuse ($M = 61,78 \text{ ms} \pm 14,10$). En revanche, aucun effet n'a été observé sur la précision de la SMS en métrique binaire.

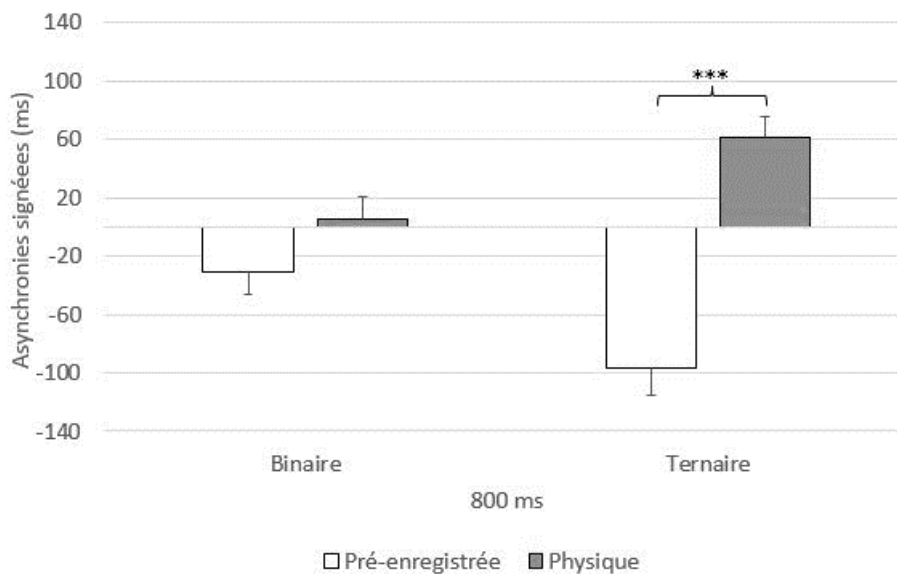


Figure 6. Asynchronies signées moyennes (en ms) avec un intervalle de 800 ms entre les beats forts en Métrique binaire et ternaire en fonction de la Présence physique et pré-enregistrée de la chanteuse. Une valeur négative correspond à une réponse anticipée alors qu’une valeur positive représente une réponse retardée. Plus l’asynchronie est proche de 0, plus la synchronisation est précise. Les barres d’erreur correspondent aux erreurs standards. ***($p < 0,001$)

Un effet du facteur Présence a aussi été trouvé sur les asynchronies signées pour le tempo de 800 ms ($F(1, 25) = 32,64, p < 0,001, \eta p^2 = 0,57$) mettant en évidence que la tape était anticipée dans la condition pré-enregistrée ($M = -63,54 \text{ ms} \pm 12,26$) alors qu’elle arrive avec du retard dans la condition présence physique de la chanteuse ($M = 33,46 \text{ ms} \pm 13,09$). Il n’y avait pas d’effet significatif du facteur Métrique pour le tempo de 800 ms.

Quantité de mouvements

L’ANOVA à mesures répétées à trois facteurs 2 (Présence) x 2 (Tempo) x 2 (Métrique) testée sur la QOM a révélé une interaction significative entre les facteurs Présence et Tempo ($F(1, 25) = 5,11, p = 0,033, \eta p^2 = 0,17$, **Figure 7**). Les tests post hoc de Fisher ont montré que la QOM était plus élevée dans la condition présence physique de la chanteuse ($M = 0,73 \text{ mV} \pm 0,11$) que dans la condition présence pré-enregistrée ($M = 0,67 \text{ mV} \pm 0,09$) pour le tempo de 667 ms ($p = .002$) mais pas pour le tempo de 800 ms. Aucun autre effet ou interaction n’a démontré de résultat significatif.

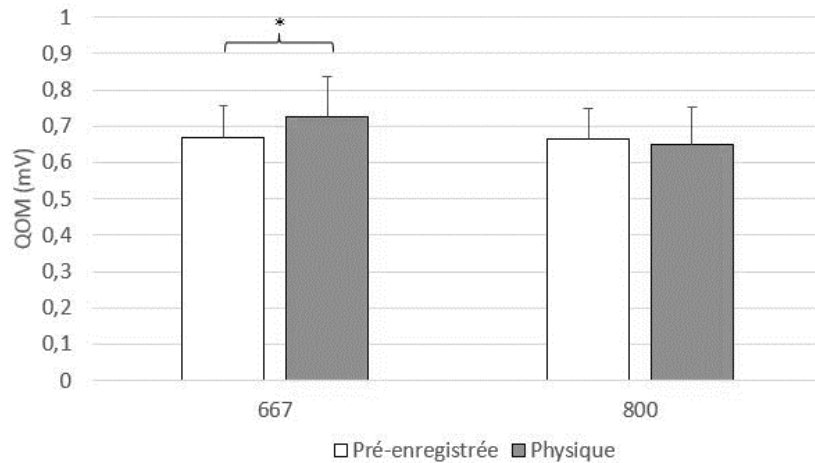


Figure 7. Quantité de mouvements (QOM en mV) avec un Tempo de 667 ms et de 800 ms entre les beats forts en fonction de la Présence physique et pré-enregistrée de la chanteuse. Plus il y a de mouvements, plus le score est élevé. Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards. * ($p < 0,05$)

Analyses corrélationnelles

Les tests de Pearson réalisés entre les mesures de synchronisation et la QOM dans les conditions musicales et le score MMSE ainsi que l'âge ont révélé une corrélation significative entre la QOM et l'âge ($r = -0,43$, $p = 0,034$). Cependant, aucune corrélation significative n'a été trouvée entre la constance et l'asynchronie signée moyenne d'une part et l'âge ou le score MMSE d'autre part.

Aucune corrélation significative n'a été trouvée entre les mesures de synchronisation et la QOM, ni sur les mesures de synchronisation entre elles sur la moyenne des conditions musicales.

Discussion

L'objectif de cette analyse complémentaire était d'examiner l'influence de la métrique en plus du contexte social et du tempo sur les performances de synchronisation et sur la QOM produits en réponse à la musique chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer ou de maladies apparentées.

Synchronisation sensorimotrice

Les résultats de cette analyse complémentaire sur les conditions musicales suggèrent que la présence physique de la chanteuse réduit davantage la constance de la synchronisation au rythme de la musique avec un tempo de 800 ms qu'avec un tempo de 667 ms (entre les beats forts). De même, la présence physique de la chanteuse module plus la précision de la synchronisation avec un tempo de 800 ms qu'avec un tempo de 667 ms confirmant ainsi les résultats de l'**étude 1 (chapitre 4)**. Selon nos hypothèses, la métrique en interaction avec le tempo influence les performances de synchronisation aux beats forts de la musique et pourrait expliquer comment les caractéristiques temporelles modulent l'effet du contexte social sur la synchronisation des participants.

Comme attendu, la métrique module les effets du tempo sur la synchronisation des participants au rythme de la musique (Drake et al., 2000; Burger, Thompson, Luck, Saarikallio, & Toiviainen, 2013, 2014; Burger et al., 2018). En effet, pour un même tempo de 800 ms (entre les beats forts), la constance est plus élevée en métrique ternaire que binaire mais pas pour un tempo de 667 ms. Cependant, la précision est modulée différemment en métrique ternaire et binaire pour un même tempo de 667 ms montrant une anticipation de la tape et une précision plus élevée en métrique binaire par comparaison à un retard de la tape en métrique ternaire. Comme prédit, les résultats démontrent que la métrique pour un même tempo influence la synchronisation et que cette influence dépend également de la longueur des intervalles entre les beats forts. Néanmoins, ces effets semblent avoir une portée différente en fonction des mesures de synchronisation.

L'analyse complémentaire sur les conditions musicales démontre également que la métrique et le tempo influencent l'effet du contexte social sur la synchronisation des participants. En effet, la présence physique de la chanteuse module davantage la constance et la précision en métrique ternaire que binaire, particulièrement avec un tempo de 800 ms. En accord avec nos hypothèses, l'interaction sociale avec la chanteuse conduit non seulement à réduire la constance et l'anticipation mais à retarder la tape du participant suggérant que l'attention de ce dernier à la tâche est plus déviée par la présence physique que par la présence pré-enregistrée de la chanteuse, particulièrement avec un tempo (ou intervalle entre les beats forts) de 800 ms en métrique ternaire.

La différence de résultats entre le tempo de 800 ms et de 667 ms s'explique par les limites de performances de la synchronisation. La synchronisation devient plus difficile avec une chanson

présentant un intervalle inférieur à 250 ms entre les beats primaires comme démontré précédemment (Fraisse, 1982; Repp, 2003; McAuley et al., 2006). Or, dans la chanson correspondant à un intervalle de 667 ms entre les beats forts en métrique ternaire, l'intervalle entre les beats primaires de la métrique est de 222 ms. Par conséquent, l'interaction entre les facteurs n'a pas le même impact sur la synchronisation avec un tempo de 667 ms par comparaison au tempo de 800 ms. Par exemple, alors que dans le tempo de 800 ms, la métrique ternaire présente une constance plus élevée qu'en métrique binaire, aucune différence n'est remarquée pour le tempo de 667 ms. Ceci suggère que la constance de la synchronisation diminue quand l'intervalle est inférieur à 250 ms et réduit donc l'effet de la métrique sur la synchronisation.

L'observation des résultats liés à la chanson avec un intervalle de 800 ms entre les beats forts de la métrique ternaire montre une constance très élevée dans la condition pré-enregistrée suggérant que ces caractéristiques temporelles entraînent un maintien du tempo chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. Bien que ces caractéristiques temporelles pourraient favoriser la prédiction temporelle et donc la constance de la SMS comme le montre une étude précédente (Pecenka, Engel, & Keller, 2013), l'anticipation dans cette condition pré-enregistrée est associée à une faible précision et à une asynchronie négative élevée. Cette asynchronie négative importante peut être associée à une sous-estimation des intervalles entre les beats forts de la musique et est également observée chez des personnes atteintes de la maladie de Parkinson (Jones et al., 2011; Bieńkiewicz & Craig, 2015). Cette asynchronie pourrait renseigner un possible impact de la maladie d'Alzheimer sur le processus de synchronisation. Une comparaison des performances de synchronisation entre des participants atteints de la maladie d'Alzheimer et un groupe contrôle nous permettrait de vérifier cette hypothèse.

L'examen de cette chanson avec un intervalle de 800 ms entre les beats forts en métrique ternaire met en évidence néanmoins un effet du contexte social particulièrement important par comparaison aux autres chansons tant sur la constance que sur la précision de la synchronisation. Bien que l'interaction sociale module différemment les mesures de synchronisation avec les métriques binaire et ternaire, notre hypothèse est que ce contexte pourrait favoriser l'interaction sociale. L'action conjointe avec un partenaire en présence physique lors de l'écoute de musique pourrait dès lors augmenter aussi l'engagement rythmique et social.

Quantité de mouvements

Contrairement aux résultats trouvés pour la synchronisation, la présence physique de la chanteuse par comparaison à la présence pré-enregistrée de celle-ci augmente plus la QOM avec un tempo de 667 ms que de 800 ms (entre les beats forts). Ainsi, l'interaction sociale avec la chanteuse en présence physique stimule plus l'activité motrice avec un tempo rapide. Ce résultat est en accord avec de précédentes études démontrant qu'un tempo rapide augmente l'engagement ou la vigueur des réponses motrices à la musique par comparaison à un tempo plus lent (Husain, Thompson, & Schellenberg, 2002; Styns, van Noorden, Moelants, & Leman, 2007). Cependant, la métrique (binaire ou ternaire) pour un même tempo ne semble pas influencer la QOM dans la maladie d'Alzheimer au contraire de la synchronisation du tapping.

Cette divergence entre les résultats obtenus pour la synchronisation et la QOM pourrait être liée à l'impact des niveaux de la métrique sur différents types de mouvements comme le montrent quelques études (Toiviainen et al., 2010; Burger et al., 2018). En effet, le processus de synchronisation implique une perception de la métrique et donc une subdivision des intervalles (London, 2002) même chez les personnes atteintes de la MA comme le confirment nos résultats. Ainsi, le tempo et la métrique de la musique influencent la synchronisation du tapping chez les participants. Cependant, au niveau de la production spontanée des mouvements rythmiques, il est rapporté que les mouvements de la tête et des mains se synchronisent spontanément aux beats forts alors que les mouvements des pieds se synchronisent plutôt aux beats primaires (Burger et al., 2018). Or, la tâche dans notre étude était de synchroniser aux beats forts de la musique impliquant donc une production plus fréquente de comportements rythmiques spontanés sur les beats forts plutôt que sur les beats primaires. Par conséquent, étant donné l'absence d'effet de la métrique sur la QOM et que la QOM inclut les différents comportements moteurs, il est attendu que la majorité de la production des comportements moteurs suit les beats forts plutôt que les beats primaires sur base des résultats obtenus. Ainsi, la divergence de résultats et l'absence de lien entre la QOM et les mesures de synchronisation suggèrent que ces comportements sont influencés différemment par les facteurs observés dans cette analyse.

Les résultats obtenus pour la synchronisation et la QOM en réponse à la musique devraient toutefois être comparés non seulement à la production spontanée de différents mouvements rythmiques mais aussi à la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle. Comme le rapportent plusieurs études (Overy & Molnar-Szakacs, 2009; Wiltermuth & Heath, 2009; Kirschner & Tomasello, 2010; Overy, 2012; Stupacher, Maes,

Witte, & Wood, 2017; Stupacher, Wood, & Witte, 2017; Trost, Labbé, & Grandjean, 2017), l'action conjointe de synchronisation lors de l'écoute de musique pourraient renforcer les liens sociaux ainsi que l'engagement rythmique (Sherratt, Thornton, & Hatton, 2004; Holmes, Knights, Dean, Hodkinson, & Hopkins, 2006). Ainsi, la présence physique de la chanteuse lors de l'action conjointe de synchronisation au rythme de la musique pourrait favoriser l'interaction sociale en augmentant la production de comportements liés à la relation sociale et émotionnelle de même que l'engagement rythmique. Un examen de l'impact du contexte social et des mêmes caractéristiques temporelles (tempo et métrique) sur ces comportements nous permettrait ainsi de vérifier si la présence physique de la chanteuse augmente la qualité de la relation sociale et émotionnelle et l'engagement rythmique lors de la synchronisation avec un intervalle de 800 ms entre les beats forts en métrique ternaire ou plutôt avec un tempo plus rapide (667 ms).

Ces données sont également à mettre en relation avec le tempo moteur spontané ainsi qu'au tempo préféré lors de l'écoute musicale. Sur base de la DAT (*Dynamic Attending Theory*, Jones, 1976, Large & Jones, 1999), la synchronisation des mouvements à des séquences rythmiques est plus aisée avec un tempo proche du tempo moteur spontanée (Fraisse, 1982; van Noorden & Moelants, 1999; Moelants, 2002; Styns et al., 2007; Leman et al., 2013). Or, une étude suggère que le tempo moteur spontané des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer est d'environ 750 ms (Rabinowitz & Lavner, 2014) ce qui renforce l'idée selon laquelle le tempo de 800 ms pourrait favoriser les réponses motrices à la musique. De plus, McAuley et ses collaborateurs (2006) ont mis en évidence que le tempo préféré pour l'écoute musicale est lié au tempo moteur spontané. Ainsi, le tempo de 800 ms semble assez proche du tempo moteur spontané et du tempo préféré des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. Il pourrait ainsi favoriser non seulement la production spontanée de mouvements rythmiques mais aussi la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle à l'écoute d'une chanson avec ces caractéristiques.

Impact du déclin cognitif et de l'âge

Un effet de l'âge a été trouvé sur la QOM en réponse à la musique suggérant que l'âge réduit la production spontanée de mouvements en réponse à la musique lors d'une tâche de synchronisation au rythme de la musique en action conjointe. Les effets de l'âge sur le déclin des fonctions motrices sont bien connus (Smith et al., 1999; Seidler et al., 2010; Wolpe et al., 2016). Il semble néanmoins que ce déclin moteur affecte également les réponses motrices à la

musique comme le montrent plusieurs études (Ghai, Ghai, Schmitz, & Effenberg, 2018 pour une revue). Par conséquent, l'activité motrice et la production spontanée de différents types de mouvements en réponse à la musique devraient être comparés non seulement entre des personnes âgées et plus jeunes mais aussi entre la maladie d'Alzheimer et le vieillissement physiologique dit normal afin de vérifier l'impact du déclin cognitif et de l'âge sur les réponses à la musique.

Conclusion

Dans cette analyse complémentaire, nos résultats ont révélé que la synchronisation du tapping aux beats forts de la musique chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer est influencée par l'interaction sociale mais aussi par le tempo (intervalle entre les beats forts) et le type de métrique (binaire et ternaire). En particulier, une chanson avec un tempo de 800 ms (entre les beats forts) en métrique ternaire présente un effet plus important de la présence physique de la chanteuse sur la synchronisation du tapping par comparaison aux autres chansons. Ces caractéristiques temporelles mettent en évidence l'influence de l'interaction sociale sur les performances de synchronisation et pourraient servir à examiner plus en détails les effets du contexte social sur la synchronisation dans la maladie d'Alzheimer. Cependant, l'effet de la présence physique de la chanteuse sur l'augmentation de la quantité de mouvements spontanés produits en réponse à la musique a été trouvé avec un tempo de 667 ms (entre les beats forts) au lieu d'un tempo de 800 ms. De plus, aucun effet de la métrique n'a été observé sur la QOM. Ces résultats sont à mettre en relation avec la production spontanée de mouvements rythmiques mais aussi avec la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle dans la maladie d'Alzheimer. L'examen des effets de la musique, du contexte social, du tempo et de la métrique sur la production spontanée de comportements non verbaux permettrait ainsi de vérifier quels facteurs favorisent la synchronisation et la production de comportements non verbaux en réponse à la musique et à l'interaction sociale dans cette population.

Chapitre 5 : Influence de l'interaction sociale sur la production de comportements non verbaux en réponse à la musique dans la maladie d'Alzheimer

Matthieu Ghilain¹, Loris Schiaratura¹, PhD, Micheline Lesaffre², PhD, Joren Six², PhD, Frank Desmet², PhD, Sylvain Clément¹, PhD, and Séverine Samson^{*1,3}, PhD

¹ PSITEC EA 4072, Université de Lille, Villeneuve d'Ascq, Lille, France

² IPEM, Department of Arts, Music and Theater Sciences, Ghent University, Belgium

³ AP-HP, GH Pitié-Salpêtrière - Charles Foix, Paris, France

Résumé. L'objectif de cette étude était d'examiner l'influence de l'interaction sociale sur la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle et sur la production spontanée de mouvements rythmiques au cours d'une tâche de synchronisation chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer ou de maladies apparentées à des stades avancés. L'interaction sociale, en particulier lors d'une action conjointe de synchronisation, pourrait augmenter l'effet de la musique sur l'engagement rythmique, social et émotionnel de ces personnes. Dans cette étude, les participants prenaient part à une tâche de synchronisation au rythme du métronome et de la musique réalisée en action conjointe avec une chanteuse présente physiquement ou de manière pré-enregistrée. Sur base du décodage des comportements effectué par des observateurs en aveugle, nos résultats ont révélé que la musique incite les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer à bouger (membres inférieurs) et à chanter spontanément par comparaison au métronome. Cependant, l'absence de différence entre la présence physique et pré-enregistrée de la chanteuse sur l'ensemble des comportements analysés suggère que les personnes avec une maladie d'Alzheimer ne seraient pas plus réactives à l'interaction sociale suscitée par la présence d'un musicien qu'à l'influence d'un enregistrement audio-visuel. De plus, le déclin cognitif des participants semble influencer la production des comportements non verbaux en réponse à la musique et à l'interaction avec la chanteuse, la fréquence des expressions faciales émotionnelles positives diminuant avec la sévérité de la maladie. Cette étude permet de valider une méthode pouvant évaluer les effets de la musique et de l'interaction sociale sur le comportement de personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer ouvrant des perspectives d'applications cliniques dans le contexte des interventions musicales.

Mots clés : Musique, Interaction sociale, Maladie d'Alzheimer, Comportement non verbal, Synchronisation, Emotion, Rythme

Introduction

L'écoute de musique peut entraîner les personnes à bouger spontanément au rythme de la musique (Lesaffre et al., 2008). Cet engagement à la musique est également remarqué dans les interventions musicales « actives » réalisées auprès de personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer ou de maladies apparentées, surtout lorsqu'elles sont menées collectivement (Raglio et al., 2008; Raglio et al., 2010; Sung, Lee, Li, & Watson, 2012; Särkämö et al., 2014; Hsu, Flowerdew, Parker, Fachner, & Odell-Miller, 2015). Cependant, l'analyse des comportements non verbaux en réponse au rythme musical dans la maladie d'Alzheimer a fait l'objet de peu d'études et rares sont celles qui ont rigoureusement contrôlé le contexte social dans lequel se déroule l'activité.

Selon plusieurs auteurs (Sherratt, Thornton, & Hatton, 2004; Holmes, Knights, Dean, Hodkinson, & Hopkins, 2006; Lesaffre, Moens, & Desmet, 2017), l'interaction sociale influence la production spontanée de comportements non verbaux, notamment moteurs, en réponse à la musique chez des personnes atteintes de démence. Dans une de ces études, il a été montré que la durée des comportements produits spontanément en réponse à la musique et les niveaux d'engagement et de bien-être des participants atteints de démence modérée à avancée étaient plus élevés en présence physique d'un musicien qui chantait devant eux que lorsqu'ils écoutaient un enregistrement audio de ce même musicien (Sherratt et al., 2004). Dans une étude comparable (Holmes et al., 2006), utilisant la même méthodologie (Kitwood, 1997), ces résultats ont à nouveau été obtenus chez des patients à des stades sévères de la maladie. L'augmentation de la production spontanée des mouvements en réponse à la musique lorsque celle-ci était jouée par un musicien plutôt que diffusée par un média sonore souligne l'importance de l'interaction sociale sur les comportements non verbaux. En mesurant la quantité de mouvements produits spontanément (*Quantity of Motion*, QOM) par des personnes âgées durant l'écoute musicale, Lesaffre et ses collaborateurs (Lesaffre et al., 2017) ont montré que la QOM était plus importante durant l'écoute de musique jouée par un chanteur que présentée par un média démontrant une fois de plus l'influence de l'interaction sociale sur les mouvements corporels induits par l'écoute musicale.

Dans cette étude (dont la procédure expérimentale est la même que celle présentée dans le **chapitre 4**), le participant et la chanteuse réalisent une action conjointe. Lorsque la chanteuse est physiquement présente une interaction sociale non verbale s'établit. L'adaptation mutuelle des comportements dans cette condition entraîne un partage des intentions des actions d'autrui, qui influence en retour les comportements des partenaires de cette activité (Sebanz, Bekkering, & Knoblich, 2006). La réactivité ou l'adaptation de la chanteuse aux comportements de l'autre pourrait dès lors avoir un impact sur la qualité de la relation sociale entre le participant et la chanteuse. Pour évaluer l'effet de l'interaction sociale, il a été choisi de comparer cette condition à une autre où la chanteuse est présente dans un enregistrement audio-visuel. Dans ce cas, la chanteuse ne peut bien évidemment pas réagir aux comportements du participant. Selon quelques études, une situation de réactivité mutuelle induit une augmentation de la coordination interpersonnelle par comparaison à l'influence unidirectionnelle d'un enregistrement (Konvalinka, Vuust, Roepstorff, & Frith, 2010; Demos, Carter, Wanderley, & Palmer, 2017). De plus, il a été montré que l'action conjointe de synchronisation au rythme de séquences auditives augmentait la production des comportements de coopération et renforçait les sentiments d'affiliation et de sympathie entre les partenaires (jeunes adultes) par comparaison à des situations d'asynchronies entre les participants (Hove & Risen, 2009; Wiltermuth & Heath, 2009; Kokal, Engel, Kirschner, & Keysers, 2011; Valdesolo & Desteno, 2011; Vicaria & Dickens, 2016). Quelques études ont montré également que l'action conjointe de synchronisation au rythme de la musique augmentait les sentiments de sympathie et les comportements de coopération par comparaison à la synchronisation au rythme du métronome (Stupacher, Maes, Witte, & Wood, 2017; Stupacher, Wood, & Witte, 2017) ou à des conditions non musicales (Kirschner & Tomasello, 2010). D'après toutes ces études, la synchronisation interpersonnelle des mouvements au rythme de séquences auditives, en particulier de la musique, semble favoriser l'interaction sociale et augmenter la qualité de la relation sociale et émotionnelle entre les partenaires de cette synchronisation. Par conséquent, dans la présente étude, nous avons examiné l'effet de l'interaction sociale et de la musique sur la production de comportements non verbaux (expressions faciales émotionnelles) liés à la relation sociale et émotionnelle au cours d'une tâche de synchronisation en action conjointe avec une chanteuse chez des personnes atteintes de MA ou de maladies apparentées.

Les expressions faciales émotionnelles (EFE) sont des comportements non verbaux particulièrement sensibles à la relation sociale et émotionnelle (Ekman, Friesen, & Ellsworth, 1972) et qui sont produits en général de manière automatique (Chartrand & Lakin, 2013). Ainsi,

le sourire peut à la fois transmettre une attitude interpersonnelle positive à l'égard d'autrui (Mehrabian, 1972) et se rapporter à une émotion spécifique comme la joie (Ekman, 1982). De plus, il a été rapporté que les affects et les émotions exprimés par ces mimiques faciales peuvent se propager à d'autres personnes (Hatfield, Cacioppo, & Rapson, 1994). Les EFE sont également capables de mimer spontanément les émotions induites par la musique comme le rapporte Juslin (2001). Enfin, la fréquence des expressions faciales a été comparée entre un face à face en présence physique d'une personne et lors d'un enregistrement vidéo chez des enfants en bas âge (Diener, Pierroutsakos, Troseth, & Roberts, 2008). Les résultats ont montré plus d'expressions faciales d'intérêt lors d'un face à face en présence physique que lors d'un enregistrement vidéo. Ainsi, mesurer la fréquence des EFE liées à des affects positifs (EFE+) et négatifs (EFE-) peut nous renseigner sur les effets de la musique et de l'interaction sociale sur la production spontanée de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle.

La production spontanée de mouvements rythmiques semble également influencée par l'interaction sociale dans une tâche d'écoute musicale menée en groupe (Sherratt et al., 2004; Holmes et al., 2006; Lesaffre et al., 2017). De plus, il a été montré dans une étude récente que les mouvements rythmiques spontanés de la tête étaient plus rapides et plus engagés au cours d'un concert en présence physique de musiciens qu'en présence d'un enregistrement (Swarbrick et al., 2019). L'action conjointe en présence d'autres personnes augmente d'ailleurs l'intensité des mouvements produits en réponse à la musique (De Bruyn, Leman, & Moelants, 2009). Ainsi, les résultats de ces études mettent en évidence que l'interaction sociale augmente l'engagement des mouvements rythmiques produits spontanément en réponse à la musique. Comme le suggère Leman (Leman, 2007), la production spontanée de mouvements en réponse à la musique peut conduire à lier les caractéristiques musicales aux émotions et à l'expression corporelle. La synchronisation au rythme de la musique, particulièrement à travers l'activité conjointe, est plaisante et est susceptible de favoriser l'interaction sociale avec un partenaire dans les maladies neurodégénératives comme le suggère une revue récente (Baird & Thompson, 2018). Ainsi, l'examen de la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle et de la production spontanée de mouvements rythmiques au cours d'une tâche de synchronisation au rythme de la musique chez des personnes présentant une MA ou une maladie apparentée nous permet de vérifier l'influence de l'interaction sociale et de la musique sur ces comportements.

Les caractéristiques temporelles des séquences rythmiques sont également susceptibles de moduler les mouvements rythmiques (Toiviainen, Luck, & Thompson, 2010; Burger, Thompson, Luck, Saarikallio, & Toiviainen, 2013, 2014; Burger, London, Thompson, & Toiviainen, 2018). Parmi ces caractéristiques, le tempo et la métrique influencent la synchronisation des mouvements rythmiques (Toiviainen et al., 2010; Burger et al., 2018). L'objectif de notre étude vise donc à examiner l'influence de la présence d'une chanteuse (présence physique et pré-enregistrée) sur la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle et sur la production spontanée de mouvements rythmiques au cours d'une tâche de synchronisation chez des personnes atteintes de la MA ou de maladies apparentées. Comme précédemment, nous avons manipulé le tempo (667 ms vs 800 ms) de séquences auditives régulières (métronome) ou musicales. Dans ce dernier cas, des rythmes de métrique binaire et ternaire ont été utilisés. Selon nos prédictions, la production de comportements liés à la relation sociale et émotionnelle ainsi que la production spontanée de mouvements rythmiques devraient être plus importantes en réponse à la musique qu'au métronome. La présence physique de la chanteuse devrait amplifier cet effet notamment dans la condition musicale par comparaison à sa présence pré-enregistrée. Sur base des résultats que nous avons obtenus sur la synchronisation du tapping (**chapitre 4**), nous pouvons émettre l'hypothèse qu'un tempo lent (intervalle de 800 ms entre les beats) favoriserait la production spontanée de mouvements rythmiques par comparaison à un tempo plus rapide (intervalle de 667 ms) chez les personnes atteintes de la MA.

Méthodologie

Participants

Les participants ont déjà été présentés dans le chapitre précédent (**étude 1 chapitre 4**). Néanmoins, trente participants ont été inclus dans nos analyses (Age Moyen = 89 ans, ET = 4,4 ans ; 25 femmes, 5 hommes) après avoir exclu deux participants (1 pour des problèmes visuels et auditifs majeurs, 1 pour des problèmes de santé). Tous les participants sauf sept n'ont jamais pratiqué d'instrument de musique. L'efficacité cognitive globale et le déclin cognitif ont été évalués à l'aide du MMSE (Folstein, Folstein, & McHugh, 1975) réalisé au cours des six derniers mois (MMSE : score moyen = 16,9, ET = 5). L'étude a reçu l'approbation du comité d'éthique local de l'Université de Gand et a été menée conformément à la Déclaration d'Helsinki

de 1975. Le consentement éclairé écrit de chaque participant et d'un membre de sa famille ou d'un représentant légal a été obtenu.

Matériel et procédure

Le matériel et la procédure sont similaires à l'étude précédente (**étude 1 chapitre 4**).

Pour rappel, il a été demandé au participant de taper avec sa main droite au rythme des séquences sonores (métronome et musique). En condition de présence physique, la musicienne chantait et exécutait la tâche en même temps que le participant (distance séparant le patient de la chanteuse est de 250 cm). En condition pré-enregistrée, la chanteuse était remplacée par un grand écran (125 cm et 165 cm) sur lequel était projeté l'enregistrement de sa performance en grandeur réelle (distance séparant le patient de l'écran est de 270 cm). Deux webcams ont permis d'enregistrer les gestes du patient et de la chanteuse pendant la tâche.

Deux types de séquences auditives ont été présentées, d'une durée de 60 secondes chacune. Pour le métronome, le participant tapait en synchronisation aux beats réguliers du métronome à un tempo rapide avec un IOI (*Inter-Onset Interval*) de 667 ms et à un tempo plus lent avec un IOI de 800 ms. Pour la musique, le participant tapait et synchronisait son tapping au rythme de quatre extraits musicaux issus de chansons en néerlandais, très connues des personnes âgées, dont deux présentent un tempo rapide (intervalle de 667 ms entre les beats forts) et deux autres un tempo plus lent (intervalle de 800 ms entre les beats forts). Les douze conditions expérimentales ont été proposées dans un ordre aléatoire à chaque participant. Nous avons calculé la moyenne des scores obtenus avec les deux chansons pour un même tempo afin de réaliser une analyse de la variance sur le facteur Auditif (séquences métronomiques vs musicales), le facteur Présence (physique vs pré-enregistrée de la chanteuse) et le facteur Tempo (tempo de 667 ms vs 800 ms).

Mesures dépendantes

Le décodage *a posteriori* des comportements non verbaux a été réalisé en aveugle par cinq observateurs sur base des enregistrements des participants dans les différentes conditions (durée des conditions est d'une minute chacune) à partir de la webcam dirigée vers le participant.

Les comportements décodés sont soit (1) liés à la relation sociale et émotionnelle incluant les expressions faciales émotionnelles positives (EFE+) et négatives (EFE-), soit (2) liés aux

rythmes des séquences auditives comprenant la production spontanée de mouvements rythmiques de la tête, des lèvres (correspondant à un comportement de chant), des membres inférieurs (MI), et du membre supérieur gauche (MSG), soit (3) des comportements non rythmiques comme les mouvements non rythmiques de la tête (détourner la tête par exemple), des membres inférieurs (croiser les jambes par exemple) et du membre supérieur gauche (lever son bras gauche pour regarder sa montre par exemple).

Le décodage assisté par ordinateur a été effectué grâce au logiciel BORIS (*Behavioral Observation Research Interactive Software*, Friard & Gamba, 2016). Chaque observateur avait la responsabilité de décoder un comportement non verbal apparaissant dans une zone corporelle (juge « expert »). Ainsi, le premier observateur a décodé les EFE, le deuxième les mouvements de tête qu'ils soient rythmiques ou non, le troisième les mouvements de lèvres, le quatrième les mouvements rythmiques et non rythmiques des membres inférieurs et le cinquième les mouvements rythmiques et non rythmiques du membre supérieur gauche. A chaque fois que le comportement apparaît, l'observateur appuie sur une touche du clavier associée spécifiquement à ce comportement. Les comportements sont décodés soit en fréquence, soit en durée. En fréquence, l'observateur presse une seule fois le bouton associé au comportement lors de l'apparition du comportement. En durée, l'observateur presse le bouton associé au comportement une première fois quand le comportement apparaît et une deuxième fois quand il se termine (Liste des correspondances des touches avec les comportements en **Annexe 1**).

Les EFE+ (joie) et les EFE- (tristesse, colère, dégoût, peur) des participants ont été décodées selon les critères fixés par le FACS (*Facial Action Coding System*, Ekman & Friesen, 1978) d'après la méthode proposée par Argyle (1975). Ces comportements ont été calculés en fréquence par minute pour chaque condition (décodage par condition).

La production spontanée de mouvements rythmiques de la tête, des lèvres (correspondant à un comportement chanté), des MI et du MSG a été mesurée en pourcentage de durée des comportements par rapport à la durée de l'enregistrement pour chaque condition. Enfin, le décodage de la production spontanée de mouvements non rythmiques de la tête, des MI et du MSG a été analysée en réalisant la somme de la fréquence par minute de ces trois comportements pour chaque condition.

Une évaluation de fiabilité inter-juge a été effectuée pour chaque comportement décodé par deux observateurs indépendants (douze échantillons réparties sur six participants). Sur base de la littérature (Harrigan, Rosenthal, & Scherer, 2005; Schiaratura, Pastena, Askevis-Leherpeux, & Clément, 2015), nous avons obtenu pour chacun des comportements un accord inter-juge

autour de .70 ($p < .01$ pour EFE+, EFE-, Lèvres et MI et $p < .05$ pour MSG et Tête, **Table 1**). Suite à cette évaluation, les données du décodeur « expert » ont été gardées. Il est à noter toutefois que la fiabilité inter-juge n'a pas été effectuée sur les mouvements non rythmiques. L'accord inter-juge ayant été réalisé sur les différentes zones corporelles, il a été jugé comme redondant de décoder à nouveau les mêmes zones pour les mouvements non rythmiques.

Table 1 : Fiabilité inter-juge sur les comportements décodés

Comportements non verbaux décodés		<i>r</i>	<i>p</i>
Comportements liés à la relation sociale et émotionnelle	EFE+	.72	.008
	EFE-	1	<.001
Comportements rythmiques liés aux séquences auditives	Tête	.65	.023
	Lèvres	.84	<.001
	MI	.86	<.001
	MSG	.68	.014
Mouvements non rythmiques	Tête, MI, MSG	-	-

Pourcentage de durée : Durée du comportement divisée par la durée de l'enregistrement en minute
Fréquence/minute : Fréquence du comportement divisée par la durée de l'enregistrement en minute
EFE+ : expressions faciales émotionnelles positives (fréquence/minute) ; EFE- : expressions faciales émotionnelles négatives (fréquence/minute) ; Tête = production spontanée de mouvements rythmiques de la tête (pourcentage de durée) ; Lèvres = production spontanée de mouvements rythmiques des lèvres (pourcentage de durée) ; MI = production spontanée de mouvements rythmiques des membres inférieurs (pourcentage de durée) ; MSG = production spontanée de mouvements rythmiques du membre supérieur gauche (pourcentage de durée) ; Non rythmique = somme des mouvements non rythmiques de la tête, des membres inférieurs et du membre supérieur gauche (fréquence/minute).

Les comportements non verbaux (en fréquence/min ou en pourcentage de durée) ont été soumis à des ANOVA à mesures répétées à trois facteurs : Auditif (métronome et musique) x Présence (présence physique et pré-enregistrée du chanteur) x Tempo (667 ms et 800 ms). Les EFE (en fréquence/min) ont également été testées à travers une ANOVA à mesures répétées en ajoutant l'effet de la Valence (positive et négative) aux trois autres facteurs. Les interactions ont été décomposées avec les tests de Fisher. Des tests de corrélation de Pearson ont été utilisés pour examiner un lien entre les comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle (EFE+) et les mouvements rythmiques spontanés (Tête, Lèvres, MI) produits dans les conditions métronomiques (moyenne des scores obtenus dans les conditions métronomiques) et dans les conditions musicales (moyenne des scores obtenus dans les conditions musicales).

Des tests non paramétriques de corrélation Spearman ont permis d'analyser un lien entre les comportements non verbaux (fréquence/min ou pourcentage de durée) produits en réponse au métronome et à la musique et l'âge, le score MMSE, le genre et l'expertise musicale. Des corrections de Bonferroni ont été ajoutés aux analyses. L'ensemble des tests ont été réalisés avec Statistica (v.13.0; Statistica, Statsoft).

Résultats

La production spontanée des différents comportements non verbaux (en fréquence/min ou pourcentage de durée) obtenue pour chaque condition auprès de personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer et ou de maladies apparentées est rapportée à la **Table 2**.

Table 2. Comportements non verbaux (en fréq/min ou pourcentage de durée) produits en réponse au métronome et à la musique en présence physique et pré-enregistrée de la chanteuse avec un tempo rapide (intervalle de 667 ms) et plus lent (intervalle de 800 ms), ($M \pm SE$).

Comportements non verbaux	EFE+		EFE-		Tête		Lèvres		MI		MSG		Non rythmique	
	M	SE	M	SE	M	SE	M	SE	M	SE	M	SE	M	SE
<i>Métronome</i>														
Physique 667	.57	.19	.60	.17	.20	.05	.17	.04	.13	.06	.01	.01	5.28	.69
Physique 800	.53	.18	.37	.10	.16	.05	.20	.04	.11	.04	0	0	5.99	.62
Pré-enregistrée 667	.53	.18	.56	.17	.19	.06	.21	.05	.13	.05	.01	.01	6.31	.72
Pré-enregistrée 800	.54	.15	.46	.16	.23	.06	.17	.04	.13	.05	.02	.02	5.90	.86
<i>Musique</i>														
Physique 667	.85	.20	.76	.17	.26	.06	.42	.05	.20	.05	.02	.01	4.56	.54
Physique 800	.68	.18	.66	.15	.27	.06	.40	.05	.21	.06	.02	.01	4.52	.62
Pré-enregistrée 667	.47	.13	.61	.14	.22	.05	.43	.06	.24	.06	.01	.01	5.53	.59
Pré-enregistrée 800	.64	.17	.54	.13	.26	.06	.38	.06	.21	.05	.01	.01	4.54	.52

EFE+ : expressions faciales émotionnelles positives (fréquence/minute) ; EFE- : expressions faciales émotionnelles négatives (fréquence/minute) ; Tête = production spontanée de mouvements rythmiques de la tête (pourcentage de durée) ; Lèvres = production spontanée de mouvements rythmiques des lèvres (pourcentage de durée) ; MI = production spontanée de mouvements rythmiques des membres inférieurs (pourcentage de durée) ; MSG = production spontanée de mouvements rythmiques du membre supérieur gauche (pourcentage de durée) ; Non rythmique = somme des mouvements non rythmiques de la tête, des membres inférieurs et du membre supérieur gauche (fréquence/minute).

Comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle

Expressions faciales émotionnelles

Une ANOVA à mesures répétées à quatre facteurs 2 (Valence) x 2 (Auditif) x 2 (Présence) x 2 (Tempo) réalisée sur les EFE (fréq/min) n'a révélé aucun résultat significatif. La fréquence moyenne par minute des EFE+ (métronome : $M = .54 \pm .13$, musique : $M = .66 \pm .15$) et des EFE- (métronome : $M = .50 \pm .12$, musique : $M = .48 \pm .11$) à travers du facteur Auditif ne présente pas de différence.

Production spontanée de mouvements rythmiques

1. Mouvements de la tête

Une ANOVA à mesures répétées à trois facteurs 2 (Auditif) x 2 (Présence) x 2 (Tempo) réalisée sur la production spontanée des mouvements rythmiques de la tête (pourcentage de durée) n'a révélé aucun résultat significatif (**Figure 1A**).

2. Mouvements des lèvres (associé au comportement de chant)

Une ANOVA à mesures répétées à trois facteurs 2 (Auditif) x 2 (Présence) x 2 (Tempo) réalisée sur la production spontanée des mouvements rythmiques des lèvres (pourcentage de durée) a mis en évidence un effet du facteur Auditif ($F(1, 29) = 33.170, p < .001, \eta^2 = .53$) montrant que le pourcentage de durée des mouvements rythmiques des lèvres était plus élevé dans les conditions musicales que métronomiques (**Figure 1B**). Aucun autre effet ou interaction n'était significatif.

3. Mouvements des membres inférieurs

Une ANOVA à mesures répétées à trois facteurs 2 (Auditif) x 2 (Présence) x 2 (Tempo) réalisée sur la production spontanée des mouvements rythmiques des MI (pourcentage de durée) a montré un effet du facteur Auditif ($F(1, 29) = 12.315, p = .001, \eta^2 = .30$) mettant en évidence que le pourcentage de durée des mouvements rythmiques des MI était plus élevé en réponse à la musique qu'au métronome (**Figure 1C**).

4. Mouvements du membre supérieur gauche

Une ANOVA à mesures répétées à trois facteurs 2 (Auditif) x 2 (Présence) x 2 (Tempo) réalisée sur la production spontanée des mouvements rythmiques du MSG (pourcentage de durée) n'a pas révélé de résultat significatif. Toutefois, il est à noter que très peu de comportements ont été identifiés (probablement suite à l'influence du tapping de la main droite) limitant ainsi l'intérêt d'étudier les mouvements du MSG dans ce contexte.

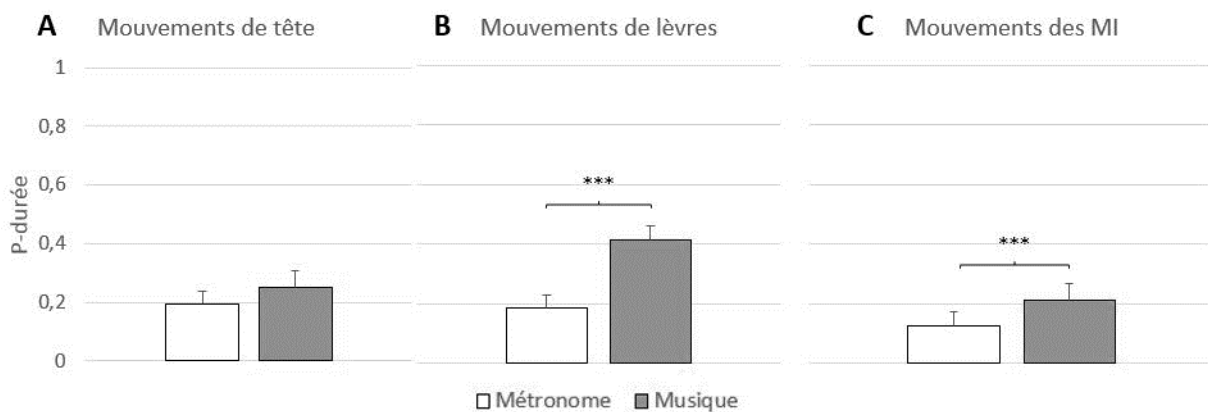


Figure 1. Production spontanée des mouvements rythmiques de la tête (A), des lèvres (B) et des membres inférieurs (MI, C) en pourcentage moyen de durée (p-durée) en fonction du facteur Auditif (métronome et musique). Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards. ***($p < .001$)

Production de mouvements non rythmiques

Somme des mouvements de la tête, des MI et du MSG

Une ANOVA à mesures répétées à trois facteurs 2 (Auditif) x 2 (Présence) x 2 (Tempo) réalisée sur la somme de la production spontanée des mouvements non rythmiques de la tête, des MI et du MSG (fréquence/minute) n'a pas révélé de résultat significatif. Cependant, un effet marginal du facteur Auditif a été trouvé ($F(1, 29) = 3.922, p = .057, \eta p^2 = .12$) montrant que la fréquence par minute des mouvements non rythmiques était plus élevée dans les conditions métronomiques ($M = 5.87 \pm .54$) que musicales ($M = 4.79 \pm .48$).

Analyse corrélacionnelle

Les tests de corrélation Pearson effectués entre les EFE+ et les mouvements rythmiques de tête, des lèvres et des MI dans les conditions musicales ont révélé une corrélation significative entre

les EFE+ et les mouvements rythmiques de la tête ($r = .65, p < .001$) mais aucun résultat significatif n'a été trouvé dans les conditions métronomiques.

Les tests de corrélation Spearman réalisés entre les EFE+, les mouvements rythmiques de la tête, des lèvres et des MI et l'âge, le score MMSE, le genre et l'expertise musicale ont révélé une corrélation significative entre la fréquence des EFE+ et le score MMSE ($r = .48, p = .009$) suggérant que le fonctionnement cognitif pourrait moduler la fréquence des EFE+ lors d'une tâche de synchronisation au rythme de la musique. Aucune autre corrélation significative n'a été trouvée entre les comportements non verbaux et le score MMSE, l'âge, l'expertise musicale et le genre.

Discussion

L'objectif de cette étude était d'examiner l'influence de l'interaction sociale sur la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle et sur la production spontanée de mouvements rythmiques au cours d'une tâche de synchronisation chez des personnes atteintes de la MA ou de maladies apparentées à des stades avancés. Ces comportements étaient produits lors d'une tâche de synchronisation au rythme du métronome et de la musique dans différents tempi (667 et 800 ms) en action conjointe avec une chanteuse présente physiquement ou de manière pré-enregistrée (enregistrement audio-visuel). Nous attendions que la condition musique augmente la production de ces comportements par comparaison à la condition métronome et que la présence physique de la chanteuse augmente cet effet par comparaison à la présence pré-enregistrée de celle-ci. De plus, il était attendu que ces effets soient plus marqués lorsque le tempo était lent (800 ms) plutôt que plus rapide (667 ms) augmentant d'autant plus la production de comportements non verbaux.

Impact de la musique sur les comportements non verbaux

Comme attendu, nos résultats ont mis en évidence que la musique par comparaison au métronome augmente la durée de production spontanée de certains mouvements rythmiques. Ainsi, les mouvements rythmiques des membres inférieurs, qui consistent par exemple à taper du pied avec la musique, témoignent de la réactivité des personnes atteintes de MA ou de maladies apparentées à la musique. Ce résultat est en cohérence avec l'idée que la musique présente des caractéristiques stimulantes et motivantes en termes d'activation motrice par

comparaison au métronome (Styns, van Noorden, Moelants, & Leman, 2007; Leman et al., 2013). De même, l'augmentation de la production de mouvements rythmiques des lèvres dans les conditions musicales par comparaison aux conditions métronomiques montre que l'écoute de chansons familières incite spontanément les patients à chanter. Une étude précédente a d'ailleurs mis en évidence que cette expression vocale a des effets sur le comportement des personnes présentant une maladie neurodégénérative, en améliorant notamment l'humeur et la qualité des liens sociaux (Särkämö et al., 2014).

A l'inverse, les mouvements non rythmiques auraient tendance à être plus fréquents dans la condition métronomique et semblent démontrer une forme d'ennui. En augmentant la production spontanée de mouvements rythmiques, la musique, contrairement au métronome, semble canaliser l'attention du participant en réduisant par la même occasion les gestes désorganisés (mouvements non rythmiques) qui sont produits de manière spontanée par ces personnes comme cela est observé dans la condition métronomique.

Concernant les EFE, aucune augmentation n'a été observée lors de l'écoute d'une chanson par comparaison à l'écoute du métronome. Cependant, nous avons mis en évidence une corrélation entre le fonctionnement cognitif (score MMSE) et la fréquence des EFE+ dans les conditions musicales. Même si, contrairement à notre hypothèse, l'écoute de musique n'a pas été accompagnée d'un nombre plus important d'EFE+ par rapport au métronome, il n'en reste pas moins que les EFE+ en réponse à la musique semblent diminuer avec l'aggravation du déclin cognitif. Ces résultats sont compatibles avec ceux de Garrido et ses collaborateurs (Garrido, Stevens, Chang, Dunne, & Perz, 2018) suggérant que la sévérité du déclin cognitif dans la MA réduit la production des comportements liés à des affects positifs en réponse à la musique. Cependant, la faible fréquence des EFE+ et des EFE- dans notre étude résulte peut-être aussi d'un biais de la méthode de décodage. En effet, le décodage des EFE a été réalisé à partir d'une seule webcam. Or, pour décoder sans ambiguïté des EFE, il est préférable d'avoir au minimum deux webcams. Dans notre étude, l'utilisation d'une seule webcam a peut-être perturbé le décodage des EFE.

Quant aux mouvements rythmiques spontanés de la tête, ils ne semblent pas non plus influencés par la musique. Ce résultat peut paraître surprenant au regard de la littérature. En effet, il a été rapporté précédemment que les mouvements rythmiques de la tête sont particulièrement sensibles à la saillance du beat (Burger et al., 2014, 2018). Or, la saillance des beats est élevée tant dans la condition métronomique que musicale, ce qui peut expliquer l'absence de différence entre les mouvements de la tête produits dans ces deux conditions dans notre étude. A noter de

plus que les mouvements rythmiques de la tête augmentent avec la fréquence des EFE+. Ce résultat suggère que l'engagement moteur à la musique mis en évidence par les mouvements de la tête pourrait être associé à un affect positif et que l'activité de synchronisation au rythme de la musique susciterait du plaisir pour les personnes atteintes de MA ou de maladies apparentées. Cependant, étant donné l'absence d'effet de la musique sur ces deux comportements, il faut rester prudent quant à l'interprétation de ces résultats qui méritent d'être appuyés par d'autres données.

Influence de la présence de la chanteuse sur les comportements non verbaux

La présence physique de la chanteuse ne semble pas moduler la production de comportements liés à la qualité de la relation sociale et émotionnelle, ni la production spontanée de comportements rythmiques chez les personnes atteintes de maladies neurodégénératives contrairement à de précédentes études. Contrairement à nos attentes, ces résultats ne confirment pas ceux rapportés dans la littérature (Sherratt et al., 2004; Holmes et al., 2006; Lesaffre et al., 2017). Cette apparente discordance entre les résultats peut néanmoins s'expliquer par des différences méthodologiques. Tandis que nous avons comparé la présence physique d'une chanteuse à un enregistrement audio-visuel de celle-ci correspondant toutes deux à des conditions multimodales (enregistrement audio-visuel en taille réelle et performance en direct d'une chanteuse en présence physique), les études précédemment publiées ont comparé la présence physique d'un musicien (audio-visuel) à une condition unimodale (enregistrement audio). Dans ce dernier cas, non seulement la présence du musicien mais également les modalités sensorielles différaient soulignant l'importance de la stimulation multimodale en plus de la présence physique d'autrui pour cette population clinique.

Il est important de rappeler que l'analyse des comportements non verbaux a été réalisée durant une tâche de synchronisation sensorimotrice. En tapant au rythme des séquences auditives (et en regardant la tablette sur laquelle ils tapaient), l'attention des participants était focalisée sur la tâche, ce qui a peut-être réduit la production spontanée d'autres manifestations comportementales de l'interaction sociale entre le participant et la chanteuse. Ainsi, cette tâche de synchronisation coûteuse sur le plan cognitif a vraisemblablement contribué à limiter la production spontanée de comportements non verbaux (Leman, 2007). Étant donné que cette tâche implique des ressources cognitives indéniables (Pecenka & Keller, 2009; Keller, 2012; Schwartze, Tavano, Schröger, & Kotz, 2012; Pecenka, Engel, & Keller, 2013), les contraintes

de la tâche associées à un déclin cognitif important sont autant de facteurs qui peuvent avoir altéré la production spontanée de comportements non verbaux en réponse à la musique et à la présence physique de la chanteuse.

Enfin, il se peut que la présence pré-enregistrée de la chanteuse suffise à stimuler la production de mouvements spontanés rythmiques expliquant de ce fait l'absence de différence entre cette condition et la présence physique de la chanteuse. Ainsi, les participants auraient été influencés tant par l'enregistrement audio-visuel que par la présence physique de la chanteuse. La présence physique d'autrui et l'interaction sociale qui en découle permet aux individus de réagir aux comportements de l'autre de façon bidirectionnelle, alors que l'enregistrement audio-visuel influence uniquement le participant et cela de manière unidirectionnelle (Demos et al., 2017). Doit-on en conclure que les patients évalués dans cette étude ne seraient pas plus réactifs à l'influence bidirectionnelle de l'interaction sociale suscitée par la présence d'un musicien qu'à l'influence unidirectionnelle d'un enregistrement audio-visuel ? Il semble un peu prématuré de l'affirmer. Cependant, certains auteurs ont montré que l'absence de présence physique dans une interaction sociale, comme c'est le cas en vidéo-conférence, peut amener les individus à s'exprimer plus librement qu'en face à face en présence physique (Manstead, Lea, & Goh, 2011; Philippot & Douilliez, 2011), appuyant l'idée que l'enregistrement de la chanteuse, comme sa présence physique, pourrait stimuler la production spontanée de certains comportements non verbaux dans cette population.

Limites et perspectives

Etant donné le lien mis en évidence entre le fonctionnement cognitif et la fréquence des EFE+ chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer, une comparaison de la fréquence des EFE mais aussi des mouvements rythmiques en réponse à la musique entre des participants présentant un vieillissement dit 'normal' et des personnes atteintes de la MA devrait être réalisée afin d'évaluer l'impact de la maladie et de troubles associés sur la production des comportements liés à la relation sociale et émotionnelle et liés au rythme de la musique.

L'absence de différence de production spontanée de comportements en réponse à la musique entre les deux conditions de présence de la chanteuse pourrait démontrer une faible attention portée à celle-ci à cause de l'effort cognitif nécessaire pour la réalisation de la tâche de synchronisation. L'étude de la durée de contact visuel entre le participant et la chanteuse pourrait néanmoins nous renseigner sur l'attention des participants à la chanteuse. En effet, le

contact visuel est un comportement non verbal particulièrement sensible à la relation sociale comme démontré précédemment (Mehrabian, 1972). Le contact visuel dans un face à face serait le signe d'attention, d'intérêt et d'engagement envers l'interlocuteur (Argyle & Cook, 1976). Certaines études démontrent d'ailleurs que le face à face en présence physique entraîne une durée plus longue du regard des participants vers l'interlocuteur qu'en présence d'un enregistrement audio-visuel (Gullberg & Holmqvist, 2006; Diener et al., 2008). Par conséquent, le décodage de ce comportement semble pertinent dans le contexte de notre étude et nous permettrait de vérifier si l'attention à la chanteuse est plus élevée en présence physique que pré-enregistrée.

Enfin, davantage de recherches sur les effets de la présence physique et pré-enregistrée d'un musicien sur les comportements non verbaux devraient être réalisées chez des personnes atteintes de MA ou de maladies apparentées. De tels travaux permettraient de mieux comprendre l'impact de l'influence bidirectionnelle entre les comportements du musicien et ceux du patient mais aussi l'impact de l'écran sur la production spontanée de comportements non verbaux dans cette population. Il sera nécessaire également de préciser les liens qui pourraient exister entre ces manifestations comportementales et l'état d'humeur ou affectif de ces patients afin de pouvoir conclure du bien-fondé de la présence d'un musicien dans ce contexte.

Conclusion

Les résultats de cette étude ont montré que l'écoute de la musique, en présence physique ou en présence pré-enregistrée d'une chanteuse, augmente plus la production spontanée de certains mouvements rythmiques comme les mouvements des membres inférieurs et des lèvres que l'écoute d'une séquences régulière métronomique chez des personnes atteintes de la MA. Bien que la musique ne démontre pas d'effet sur les EFE+, un lien a été trouvé entre la sévérité du fonctionnement cognitif et les EFE+ suggérant que la MA réduit la production des EFE en réponse à la musique. Nous avons trouvé également que l'interaction sociale avec une chanteuse au cours de la tâche de synchronisation au rythme de la musique ne module pas l'effet de la musique ni sur les comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle, ni sur les comportements rythmiques spontanés. Les contraintes de la tâche de synchronisation ainsi que le déclin cognitif peuvent toutefois avoir réduit la production spontanée de comportements non verbaux en réponse à la musique et à la présence physique de la chanteuse. Cette absence

de différence entre la présence physique et pré-enregistrée de la chanteuse sur la production spontanée de comportements en réponse à la musique suggère également que les personnes atteintes de la MA ne seraient pas plus réactives à l'influence bidirectionnelle de l'interaction sociale suscitée par la présence d'un musicien qu'à l'influence unidirectionnelle d'un enregistrement audio-visuel. Par conséquent, une recherche plus détaillée des effets du contexte social sur les comportements en réponse à la musique devrait être réalisée auprès des personnes atteintes de la MA. De même, une comparaison de la production de comportements non verbaux entre des personnes présentant un vieillissement normal et d'autres personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer nous aiderait à vérifier l'impact de la maladie sur les comportements produits en réponse à la musique et à l'interaction sociale.

Remerciements : Cette recherche a été réalisée grâce au soutien du Conseil Régional des Hauts-de-France et l'Université de Lille à M.G., du Ministère des Affaires Etrangères (partenariat Hubert Curien) à S.S. et à M.L. ainsi que l'Institut Universitaire de France à S.S. Les auteurs souhaitent remercier également Ivan Schepers de l'Université de Gand pour le développement du matériel. Nous sommes spécialement reconnaissants à Linda Vanderstichele, musicienne ayant participé au déroulement de l'étude, au personnel du WZC St. Franciscus à Kluisbergen, et aux participants qui ont accepté de prendre part à cette étude.

Liens d'intérêts : Les auteurs déclarent ne pas avoir de lien en rapport avec cet article.

Références

- Argyle, M. (1975). *Bodily Communication*. New York: International University Press.
- Argyle, M., & Cook, M. (1976). *Gaze and mutual gaze*. Oxford, England: Cambridge University Press.
- Baird, A., & Thompson, W. F. (2018). The Impact of Music on the Self in Dementia. *Journal of Alzheimer's Disease*, *61*(3), 827–841.
- Burger, B., Thompson, M. R., Luck, G., Saarikallio, S., & Toiviainen, P. (2013). Influences of Rhythm- and Timbre-Related Musical Features on Characteristics of Music-Induced Movement. *Frontiers in Psychology*, *4*, 183.
- Burger, B., Thompson, M. R., Luck, G., Saarikallio, S. H., & Toiviainen, P. (2014). Hunting for the beat in the body: On period and phase locking in music-induced movement. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 903.

- Burger, B., London, J., Thompson, M. R., & Toiviainen, P. (2018). Synchronization to metrical levels in music depends on low-frequency spectral components and tempo. *Psychological Research*, 82(6), 1195–1211.
- Chartrand, T. L., & Lakin, J. L. (2013). The Antecedents and Consequences of Human Behavioral Mimicry. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 285–308.
- De Bruyn, L., Leman, M., & Moelants, D. (2009). Does social interaction activate music listeners? In S. Ystad, R. Kronland-Martinet, & K. Jensen (Eds.), *Computer music, modeling and retrieval. Genesis of meaning of sound and music. Lecture notes in computer science*. (Vol. 5493, pp. 93–106). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Demos, A. P., Carter, D. J., Wanderley, M. M., & Palmer, C. (2017). The Unresponsive Partner: Roles of Social Status, Auditory Feedback, and Animacy in Coordination of Joint Music Performance. *Frontiers in Psychology*, 8, 149.
- Diener, M. L., Pierroustakos, S. L., Troseth, G. L., & Roberts, A. (2008). Video Versus Reality: Infants' Attention and Affective Responses to Video and Live Presentations. *Media Psychology*, 11(3), 418–441.
- Ekman, P., Friesen, W. V., & Ellsworth, P. (1972). *Emotion in the Human Face: Guidelines for Research and an Integration of Findings*. New York, Pergamon.
- Ekman, P., F., W. V. (1978). Facial Action Coding System: A technique for the measurement of facial movement. *A Human Face*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
- Ekman, P. (1982). *Emotion in the human face* (2nd ed.). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). Mini-mental state: A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189–198.
- Friard, O., & Gamba, M. (2016). BORIS: A free, versatile open-source event-logging software for video/audio coding and live observations. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(11), 1325–1330.
- Garrido, S., Stevens, C. J., Chang, E., Dunne, L., & Perz, J. (2018). Music and Dementia: Individual Differences in Response to Personalized Playlists. *Journal of Alzheimer's Disease*, 64(3), 933–941.
- Gullberg, M., & Holmqvist, K. (2006). What speakers do and what addressees look at: Visual attention to gestures in human interaction live and on video. *Pragmatics & Cognition*, 14(1), 53–82.

- Harrigan, J., Rosenthal, R., & Scherer, K. R. (2005). *New Handbook of Methods in Nonverbal Behavior Research*. Oxford, Oxford University Press.
- Hatfield, E., Cacioppo, J. T., & Rapson, R. L. (1994). Emotional contagion. *Current Directions in Psychological Science*, 2(3), 96–99.
- Holmes, C., Knights, A., Dean, C., Hodkinson, S., & Hopkins, V. (2006). Keep music live: Music and the alleviation of apathy in dementia subjects. *International Psychogeriatrics*, 18(4), 623–630.
- Hove, M. J., & Risen, J. L. (2009). It's All in the Timing: Interpersonal Synchrony Increases Affiliation. *Social Cognition*, 27(6), 949–960.
- Hsu, M. H., Flowerdew, R., Parker, M., Fachner, J., & Odell-Miller, H. (2015). Individual music therapy for managing neuropsychiatric symptoms for people with dementia and their carers: A cluster randomised controlled feasibility study. *BMC Geriatrics*, 15, 84.
- Juslin, P. N. (2001). Communicating emotion in music performance: A review and a theoretical framework. In P. N. Juslin & J. A. Sloboda (Eds), *Series in Affective Science. Music and emotion: Theory and research* (pp. 309–337). New York, NY, US: Oxford University Press.
- Keller, P. E. (2012). Mental imagery in music performance: Underlying mechanisms and potential benefits. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1252(1), 206–213.
- Kirschner, S., & Tomasello, M. (2010). Joint music making promotes prosocial behavior in 4-year-old children. *Evolution and Human Behavior*, 31(5), 354–364.
- Kitwood, T. M. (1997). *Evaluating dementia care: The DCM method* (7th ed.). Bradford, UK: Bradford Dementia Care Group, University of Bradford.
- Kokal, I., Engel, A., Kirschner, S., & Keysers, C. (2011). Synchronized Drumming Enhances Activity in the Caudate and Facilitates Prosocial Commitment - If the Rhythm Comes Easily. *PLOS ONE*, 6(11), e27272.
- Konvalinka, I., Vuust, P., Roepstorff, A., & Frith, C. D. (2010). Follow you, Follow me: Continuous Mutual Prediction and Adaptation in Joint Tapping. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(11), 2220–2230.
- Leman, M. (2007). *Embodied Music Cognition and Mediation Technology*. MIT Press.
- Leman, M., Moelants, D., Varewyck, M., Styns, F., van Noorden, L., & Martens, J.-P. (2013). Activating and Relaxing Music Entrain the Speed of Beat Synchronized Walking. *PLOS ONE*, 8(7), e67932.
- Lesaffre, M., De Voogdt, L., Leman, M., De Baets, B., De Meyer, H., & Martens, J.-P. (2008). How potential users of music search and retrieval systems describe the semantic quality

- of music. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 59(5), 695–707.
- Lesaffre, M., Moens, B., & Desmet, F. (2017). Monitoring music and movement interaction in people with dementia. In M. Lesaffre, P.-J. Maes & M. Leman (Eds.), *The Routledge Companion to embodied music interaction* (pp. 294–303). New York: Routledge.
- Manstead, A. S. R., Lea, M., & Goh, J. (2011). 7. Facing the future: Emotion communication and the presence of others in the age of video-mediated communication. In A. Kappas & N. C. Krämer (Eds), *Face-to-face communication over the Internet: emotions in a web of culture, language, and technology* (pp. 144-175). Cambridge: Cambridge university Press.
- Mehrabian, A. (1972). *Nonverbal Communication*. Chicago: Aldine-Atherton.
- Pecenka, N., & Keller, P. E. (2009). Auditory Pitch Imagery and Its Relationship to Musical Synchronization. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 282–286.
- Pecenka, N., Engel, A., & Keller, P. E. (2013). Neural correlates of auditory temporal predictions during sensorimotor synchronization. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 380.
- Philippot, P., & Douilliez, C. (2011). Impact of social anxiety on the processing of emotional information in video-mediated interaction. In A. Kappas & N. C. Krämer (Eds), *Face-to-face communication over the Internet: Emotions in a web of culture, language, and technology*, (pp. 127-143). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Raglio, A., Bellelli, G., Traficante, D., Gianotti, M., Ubezio, M. C., Villani, D., & Trabucchi, M. (2008). Efficacy of Music Therapy in the Treatment of Behavioral and Psychiatric Symptoms of Dementia. *Alzheimer Disease & Associated Disorders*, 22(2), 158.
- Raglio, A., Bellelli, G., Traficante, D., Gianotti, M., Ubezio, M. C., Gentile, S., Villani, D., & Trabucchi, M. (2010). Efficacy of music therapy treatment based on cycles of sessions: A randomised controlled trial. *Aging & Mental Health*, 14(8), 900–904.
- Särkämö, T., Tervaniemi, M., Laitinen, S., Numminen, A., Kurki, M., Johnson, J. K., & Rantanen, P. (2014). Cognitive, Emotional, and Social Benefits of Regular Musical Activities in Early Dementia: Randomized Controlled Study. *The Gerontologist*, 54(4), 634–650.
- Schiaratura, L. T., Pastena, A. D., Askevis-Leherpeux, F., & Clément, S. (2015). Verbal and gestural communication in interpersonal interaction with Alzheimer’s disease patients. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie Du Vieillissement*, 13(1), 97–105.

- Schwartz, M., Tavano, A., Schröger, E., & Kotz, S. A. (2012). Temporal aspects of prediction in audition: Cortical and subcortical neural mechanisms. *International Journal of Psychophysiology*, *83*(2), 200–207.
- Sebanz, N., Bekkering, H., & Knoblich, G. (2006). Joint action: Bodies and minds moving together. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(2), 70–76.
- Sherratt, K., Thornton, A., & Hatton, C. (2004). Emotional and behavioural responses to music in people with dementia: An observational study. *Aging & Mental Health*, *8*(3), 233–241.
- Stupacher, J., Maes, P.-J., Witte, M., & Wood, G. (2017). Music strengthens prosocial effects of interpersonal synchronization – If you move in time with the beat. *Journal of Experimental Social Psychology*, *72*, 39–44.
- Stupacher, J., Wood, G., & Witte, M. (2017). Synchrony and sympathy: Social entrainment with music compared to a metronome. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, *27*(3), 158–166.
- Styns, F., van Noorden, L., Moelants, D., & Leman, M. (2007). Walking on music. *Human Movement Science*, *26*(5), 769–785.
- Sung, H., Lee, W., Li, T., & Watson, R. (2012). A group music intervention using percussion instruments with familiar music to reduce anxiety and agitation of institutionalized older adults with dementia. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, *27*(6), 621–627.
- Swarbrick, D., Bosnyak, D., Livingstone, S. R., Bansal, J., Marsh-Rollo, S., Woolhouse, M. H., & Trainor, L. J. (2019). How Live Music Moves Us: Head Movement Differences in Audiences to Live Versus Recorded Music. *Frontiers in Psychology*, *9*, 2682.
- Toiviainen, P., Luck, G., & Thompson, M. R. (2010). Embodied Meter: Hierarchical Eigenmodes in Music-Induced Movement. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, *28*(1), 59–70.
- Valdesolo, P., & Desteno, D. (2011). Synchrony and the social tuning of compassion. *Emotion (Washington, D.C.)*, *11*(2), 262–266.
- Vicaria, I. M., & Dickens, L. (2016). Meta-Analyses of the Intra- and Interpersonal Outcomes of Interpersonal Coordination. *Journal of Nonverbal Behavior*, *40*(4), 335–361.
- Wiltermuth, S. S., & Heath, C. (2009). Synchrony and Cooperation. *Psychological Science*, *20*(1), 1–5.

Annexe 1 : Codes de correspondance entre les comportements à décoder et les touches

Comportements non verbaux décodés		Key
Comportements liés à la relation sociale et émotionnelle	EFE+	a
	EFE-	z
Comportements rythmiques liés aux séquences auditives	Tête	t
	Lèvres	l
	MI	i
	MSG	g
Mouvements non rythmiques	Somme Tête, MI, MSG	o

Pourcentage de durée : Durée du comportement divisée par la durée de l'enregistrement en minute

Fréquence/minute : Fréquence du comportement divisée par la durée de l'enregistrement en minute

EFE+ : expressions faciales émotionnelles positives (fréquence/minute) ; EFE- : expressions faciales émotionnelles négatives (fréquence/minute) ; Tête = production spontanée de mouvements rythmiques de la tête (pourcentage de durée) ; Lèvres = production spontanée de mouvements rythmiques des lèvres (pourcentage de durée) ; MI = production spontanée de mouvements rythmiques des membres inférieurs (pourcentage de durée) ; MSG = production spontanée de mouvements rythmiques du membre supérieur gauche (pourcentage de durée) ; Non rythmique = somme des mouvements non rythmiques de la tête, des membres inférieurs et du membre supérieur gauche (fréquence/minute).

Analyse complémentaire : Influence de la Métrique sur les comportements non verbaux produits en réponse à la musique dans la maladie d'Alzheimer

Dans cette section, nous rapportons des résultats complémentaires à l'étude 1 concernant l'influence de la métrique (binaire et ternaire) sur les comportements non verbaux (**chapitre 5**). Etant donné que nous n'avons pas manipulé la métrique dans les conditions métronomiques, nous n'avons inclus dans ces analyses que les conditions musicales afin d'examiner l'effet de la métrique (binaire et ternaire), en plus de celui de la présence de la chanteuse et de celui du tempo (intervalle entre les beats forts) sur les comportements non verbaux chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer (MA) ou de maladies apparentées.

Le tempo module les réponses motrices à la musique. En effet, plus le tempo est rapide, plus la vitesse des réponses motrices augmente (Styns, van Noorden, Moelants, & Leman, 2007). Cependant, cette étude montre également qu'à un même intervalle entre les beats primaires, la vitesse de la marche est plus rapide lors de l'écoute de musique que du métronome suggérant que la musique stimule plus la réponse motrice que le métronome. La métrique, qui est propre à la musique, peut moduler cet effet stimulateur de la musique sur la marche chez des jeunes adultes (Leman et al., 2013). Selon ces auteurs, pour un même intervalle entre les beats primaires, la métrique binaire (1:2) stimule plus l'activité motrice dans une séquence musicale que dans une séquence métronomique alors que la métrique ternaire (1:3), souvent perçue comme plus relaxante, a l'effet inverse, réduisant l'activité motrice associée à la musique par comparaison au métronome. Il a également été mis en évidence que les niveaux de la métrique, c'est-à-dire les beats primaires et les beats forts, ainsi que le tempo peuvent influencer différemment les mouvements rythmiques spontanés en fonction des membres du corps (Toiviainen, Luck, & Thompson, 2010). Par exemple, les beats primaires de la musique auraient une résonance motrice plus importante sur les mouvements des hanches et des pieds alors que les mouvements de la tête et des mains se synchronisent davantage aux beats forts de la musique (Burger, London, Thompson, & Toiviainen, 2018).

D'autres études ont montré également qu'il serait plus facile de bouger au rythme de la musique dans une métrique binaire (1:2) que ternaire (1:3) étant donné que la métrique ternaire entraîne une complexité rythmique plus élevée (Fraisse, 1956; Povel, 1981; Collier & Wright, 1995).

Comme nous l'avons précédemment décrit (**chapitre 4 analyse complémentaire**), nous avons examiné ces comportements en réponse à l'écoute de chansons (années 50-60) avec deux tempi différents (intervalles de 667 ms et de 800 ms entre les beats forts). Deux chansons par tempo ont été sélectionnées, l'une avec une métrique binaire et l'autre avec une métrique ternaire comme l'illustre la **Figure 1**.

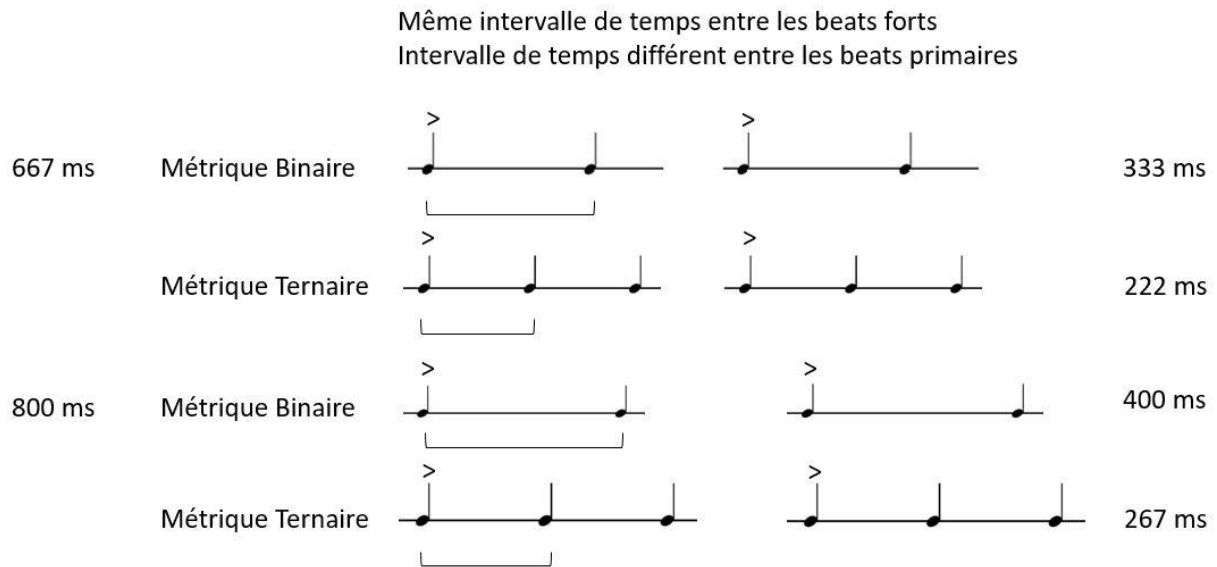


Figure 1. Intervalle entre les beats primaires et entre les beats forts de la métrique binaire et ternaire à travers quatre chansons.

L'objectif de cette analyse est d'examiner les effets de la Métrique (binaire et ternaire) en plus de ceux de la Présence de la chanteuse (présence physique et pré-enregistrée) et du Tempo (667 ms et 800 ms) sur la production de comportements non verbaux liés à la qualité de la relation sociale et émotionnelle (EFE+ et EFE-) et sur la production spontanée des mouvements rythmiques (mouvements rythmiques de la tête, des lèvres, des membres inférieurs et du membre supérieur gauche). Cet examen nous permet de vérifier une influence de ces facteurs sur ces comportements produits en réponse à la musique chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer ou de maladies apparentées.

Analyses statistiques

Dans cette analyse complémentaire, les comportements non verbaux (en fréquence/min ou en pourcentage de durée) produits en réponse à la musique ont été soumis à des ANOVA à mesures répétées à trois facteurs : Présence (présence physique et pré-enregistrée de la chanteuse), Tempo (667 ms et 800 ms entre les beats forts) et Métrique (binaire et ternaire). Les EFE (en

fréquence/min) ont également été testées à travers une ANOVA à mesures répétées en ajoutant l'effet de la Valence (positive et négative) aux trois autres facteurs. Les interactions ont été décomposées avec les tests de Fisher. L'ensemble des tests ont été réalisés avec Statistica (v.13.0; Statistica, Statsoft).

Résultats

La production spontanée des différents comportements (en fréquence/min ou pourcentage de durée) décodés pour chaque condition musicale auprès des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer ou de maladies apparentées est rapportée à la **Table 1**.

Table 1. Comportements non verbaux (en fréq/min ou pourcentage de durée) produits en réponse à la musique en présence physique et pré-enregistrée de la chanteuse avec un tempo rapide (intervalle de 667 ms) et plus lent (intervalle de 800 ms) en métrique binaire et ternaire, (M ± SE).

Comportements non verbaux	EFE+		EFE-		Tête		Lèvres		MI		MSG		Non rythmique		
	M	SE	M	SE	M	SE	M	SE	M	SE	M	SE	M	SE	
<i>Physique</i>															
667 Binaire	.94	.21	.44	.14	.25	.06	.40	.05	.20	.05	.03	.03	4.74	.61	
667 Ternaire	.77	.21	.61	.20	.27	.07	.45	.06	.21	.06	.01	.01	4.39	.60	
800 Binaire	.66	.18	.71	.16	.24	.05	.38	.05	.18	.05	.01	.01	3.99	.54	
800 Ternaire	.70	.23	.35	.14	.31	.07	.43	.06	.23	.07	.03	.03	5.04	.82	
<i>Pré-enregistrée</i>															
667 Binaire	.62	.16	.52	.14	.18	.05	.41	.06	.22	.06	.01	0	5.28	.78	
667 Ternaire	.32	.11	.58	.15	.25	.06	.46	.06	.25	.06	.01	.01	5.78	.68	
800 Binaire	.56	.20	.33	.11	.27	.06	.38	.06	.18	.05	.02	.02	4.80	.67	
800 Ternaire	.72	.18	.26	.10	.25	.06	.39	.06	.24	.06	.01	.01	4.28	.55	

EFE+ : expressions faciales émotionnelles positives (fréquence/minute) ; EFE- : expressions faciales émotionnelles négatives (fréquence/minute) ; Tête = production spontanée de mouvements rythmiques de la tête (pourcentage de durée) ; Lèvres = production spontanée de mouvements rythmiques des lèvres (pourcentage de durée) ; MI = production spontanée de mouvements rythmiques des membres inférieurs (pourcentage de durée) ; MSG = production spontanée de mouvements rythmiques du membre supérieur gauche (pourcentage de durée) ; Non rythmique = somme des mouvements non rythmiques de la tête, des membres inférieurs et du membre supérieur gauche (fréquence/minute).

Comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle

Expressions faciales émotionnelles

Une ANOVA à mesures répétées à quatre facteurs 2 (Valence) x 2 (Présence) x 2 (Tempo) x 2 (Métrique) réalisée sur les EFE (fréq/min) a révélé une interaction significative entre les facteurs Valence x Présence x Tempo ($F(1, 28) = 17.408, p < .001, \eta p^2 = .38$). L'interaction de ces trois facteurs a été décomposée en une analyse des facteurs 2 (Présence) x 2 (Tempo) en fonction de la valence positive (EFE+) et négative (EFE-) de manière séparée. Pour les EFE+, les résultats ont montré une interaction entre les facteurs Présence et Tempo ($F(1, 29) = 5.23, p = .030, \eta p^2 = .15$). Comme l'illustre la **Figure 2A**, les comparaisons *post hoc* ont montré que la fréquence des EFE+ était plus élevée dans la condition présence physique ($M = .85 \pm .20$) que dans la condition présence pré-enregistrée de la chanteuse ($M = .47 \pm .13$) pour le tempo rapide (667 ms, $p = .001$) alors qu'il n'y avait pas de différence pour le tempo lent (800 ms). Pour la fréquence des EFE- (**Figure 2B**), les résultats ont révélé aussi une interaction entre les facteurs Présence et Tempo ($F(1, 29) = 4.29, p = .047, \eta p^2 = .13$). Les comparaisons *post hoc* ont révélé que la fréquence des EFE- était plus élevée dans la condition présence physique ($M = .53 \pm .12$) que dans la condition présence pré-enregistrée de la chanteuse ($M = .30 \pm .09$) pour le tempo lent (800 ms, $p = .01$) mais pas pour le tempo rapide (667 ms).

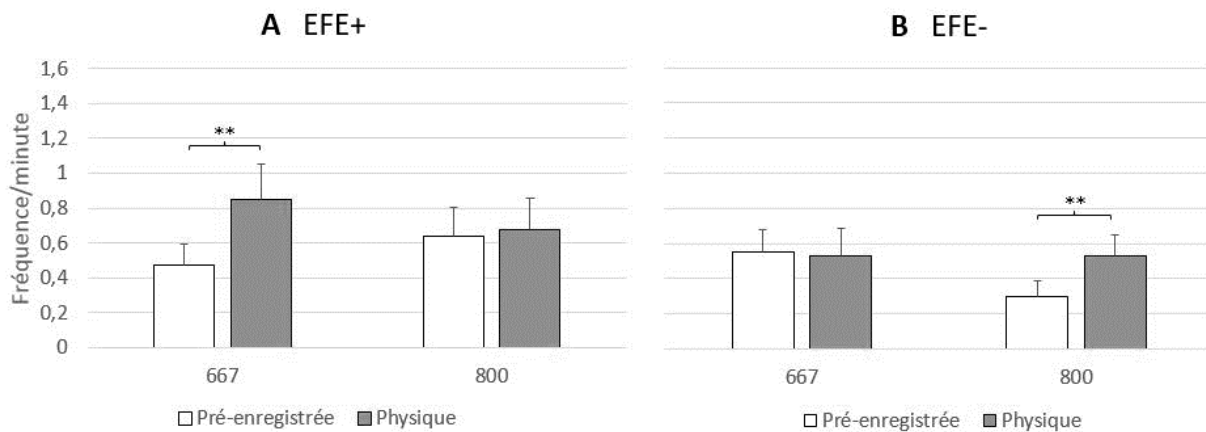


Figure 2. Fréquence moyenne par minute des expressions faciales émotionnelles positives (EFE+, **partie A**) et négatives (EFE-, **partie B**) avec un Tempo de 667 ms et de 800 ms entre les beats forts en fonction de la Présence physique et pré-enregistrée de la chanteuse. Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards. ** ($p \leq .01$)

L'ANOVA a également révélé une interaction significative entre les facteurs Valence x Tempo x Métrique ($F(1, 28) = 4.979, p = .034, \eta p^2 = .15$). L'interaction de ces trois facteurs a été décomposée en une analyse des facteurs 2 (Tempo) x 2 (Métrique) en fonction de la valence positive (EFE+) et négative (EFE-) de manière séparée. Pour les EFE+, les résultats n'ont pas montré de résultat significatif (**Figure 3A**). En revanche, pour les EFE-, les résultats ont révélé une interaction entre les facteurs Tempo et Métrique ($F(1, 29) = 7.580, p = .010, \eta p^2 = .21$). Les comparaisons *post hoc* ont mis en évidence, comme l'illustre la **Figure 3B**, que la fréquence des EFE- était plus élevée pour le tempo rapide (667 ms, $M = .60 \pm .15$) que pour le tempo lent (800 ms, $M = .31 \pm .09$) dans une métrique ternaire ($p = .002$) mais pas dans une métrique binaire.

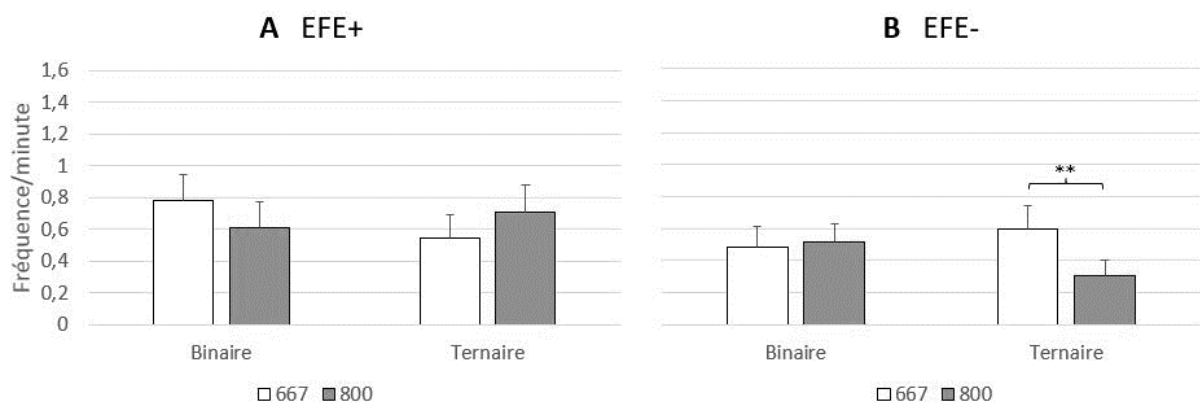


Figure 3. Fréquence moyenne par minute des expressions faciales émotionnelles positives (EFE+, **partie A**) et négatives (EFE-, **partie B**) en Métrique binaire et ternaire en fonction du Tempo (667 et 800 ms). Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards. ** ($p < .01$)

Production spontanée de mouvements rythmiques liés au rythme de la musique

L'analyse de la variance sur la production spontanée de chacun des mouvements rythmiques (tête, lèvres, membres inférieurs et membre supérieur gauche) en pourcentage de durée a été testée à travers une ANOVA à mesures répétées à trois facteurs : 2 (Présence) x 2 (Tempo) x 2 (Métrique). Cependant, l'analyse de la variance n'a pas révélé d'effet ou d'interaction significative.

Production de mouvements non rythmiques

Une ANOVA à mesures répétées à trois facteurs : 2 (Présence) x 2 (Tempo) x 2 (Métrique) réalisée sur la somme de la production spontanée des mouvements non rythmiques de la tête,

des MI et du MSG (fréquence/minute) n'a pas mis en évidence d'effet ou d'interaction significative.

Discussion

L'objectif de ces analyses complémentaires était d'examiner l'influence de la métrique, en plus du contexte social et du tempo sur la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle et sur la production spontanée des mouvements rythmiques en réponse à la musique chez des personnes atteintes de maladie d'Alzheimer ou de maladies apparentées. La métrique n'ayant été manipulée que dans les conditions musicales (et non dans les conditions métronomiques), les résultats discutés ici ne concernent que les comportements non verbaux décodés durant la tâche de synchronisation au rythme de la musique avec une métrique binaire (1:2) ou ternaire (1:3) et dans différents tempi (rapide : 667 ou lent ; 800 ms), en présence physique ou pré-enregistrée de la chanteuse. Dans ces analyses qui ne concernaient que les réponses à la musique, nous nous attendions à ce que la présence physique de la chanteuse par comparaison à sa présence pré-enregistrée augmente la fréquence des EFE+ et la durée des mouvements rythmiques spontanés. Comme précédemment, un effet du tempo était également attendu, la production spontanée de mouvements rythmiques devant être plus importante avec un tempo de 667 ms que de 800 ms. Enfin, nous prédisions que la métrique module l'effet du tempo et du contexte social en particulier pour les mouvements rythmiques.

Présence de la chanteuse et tempo

Dans cette analyse qui ne concerne que les conditions musicales, les résultats ont mis en évidence un effet de la présence physique de la chanteuse sur la fréquence des EFE+ par comparaison à la condition pré-enregistrée, uniquement en présence d'un tempo rapide (667 ms) mais pas avec un tempo lent (800 ms). Ces résultats montrent que seul le tempo rapide augmente la fréquence des EFE+ en présence physique de la chanteuse. Cette augmentation des comportements non verbaux liés à des affects positifs en présence d'un tempo musical rapide est compatible avec les résultats de plusieurs études qui rapportent que le tempo rapide est davantage associé à des émotions joyeuses qu'un tempo plus lent (Dalla Bella, Peretz, Rousseau, & Gosselin, 2001; Husain, Thompson, & Schellenberg, 2002; Webster & Weir, 2005; Khalfa, Roy, Rainville, Dalla Bella, & Peretz, 2008; Fernández-Sotos, Fernández-

Caballero, & Latorre, 2016). Toutefois, les résultats de notre étude montrent que cet effet peut varier en fonction du contexte social car il est plus marqué lorsqu'un partenaire est physiquement présent plutôt qu'enregistré. Ainsi, la présence physique de la chanteuse semble renforcer l'émotion joyeuse probablement déjà transmise par le tempo rapide de 667 ms entre les beats forts. La présence de la chanteuse module également la fréquence des EFE- dans la tâche de synchronisation au rythme de la musique, mais dans ce cas, c'est lorsque le tempo est lent (800 ms) que la fréquence des EFE- augmente en présence physique de la chanteuse. L'ensemble de ces résultats sur les EFE démontre l'influence de la présence physique de la chanteuse sur les expressions faciales émotionnelles des patients.

Métrique et tempo

La fréquence des EFE est en effet modulée par le type de métrique (ou l'intervalle entre les subdivisions de la métrique) et le tempo. Tandis que pour les EFE+, aucun effet de la métrique n'est remarqué tant pour le tempo rapide que le tempo lent, la fréquence des EFE- diminue quand la métrique est ternaire lorsque le tempo est lent (800 ms) mais pas lorsqu'il est rapide (667 ms). Outre le fait que le tempo lent réduit la fréquence des EFE- en métrique ternaire, le tempo rapide dans cette même métrique pourrait augmenter la production des EFE-. Ceci est en cohérence avec nos observations réalisées dans l'analyse complémentaire de la synchronisation du tapping (**étude 1, chapitre 4**). Selon les résultats de cette analyse antérieure de la synchronisation, nous avons trouvé que l'intervalle de 667 ms en métrique ternaire peut altérer la performance de synchronisation des personnes atteintes de la MA. En accord avec les données de précédentes études (Frasse, 1982; Repp, 2003; McAuley et al., 2006), ces caractéristiques entraînent un intervalle trop court des subdivisions de la métrique (inférieur à 250 ms) qui représente les limites de performances de synchronisation. Ainsi, un tempo trop rapide affectant la synchronisation du tapping pourrait entraîner une augmentation de la fréquence des EFE- suggérant que les participants n'apprécient pas la synchronisation au rythme d'une chanson correspondant à ces caractéristiques. Ainsi, le type de métrique ou l'intervalle entre les subdivisions de la métrique et le tempo de la musique influencent la fréquence des comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle.

Production spontanée de mouvements rythmiques

Le type de métrique ou l'intervalle entre les subdivisions de la métrique ne montre pas d'effet sur la production spontanée des mouvements rythmiques en réponse à la musique chez les personnes atteintes de la MA. L'absence d'effet de la métrique s'explique peut être par le fait que la tâche était de taper en synchronisation avec les beats forts de la musique et non avec les beats primaires. De plus, la chanteuse effectuait également cette tâche influençant ainsi les réponses des participants. En effet, les mouvements de la tête et de la main se synchronisent plutôt avec le beat fort qu'avec le beat primaire comme le rapporte une étude (Burger et al., 2018). Ainsi, la production spontanée des mouvements rythmiques devrait avoir suivi les beats forts sans qu'il y ait influence du type de métrique confirmant ainsi l'absence d'effet du type de métrique sur la QOM observée dans le chapitre précédent (**étude 1, chapitre 4 analyse complémentaire**).

Les résultats obtenus pour la fréquence des EFE et pour la production spontanée des mouvements rythmiques pourraient être mis en relation avec le tempo moteur spontané (ou le tempo préféré) des personnes atteintes de la MA. D'après plusieurs études, la synchronisation des mouvements au rythme de séquences auditives est facilitée quand cette séquence présente un tempo proche du tempo moteur spontané ou du tempo interne de l'individu (Fraisse, 1982; van Noorden & Moelants, 1999; Moelants, 2002; Styns et al., 2007; Leman et al., 2013). Une étude suggère que le tempo moteur spontané des personnes atteintes de la MA est d'environ 750 ms (Rabinowitz & Lavner, 2014) ce qui renforce l'idée selon laquelle le tempo de 800 ms pourrait favoriser les réponses motrices à la musique et correspondre aux caractéristiques temporelles préférées de cette population. Une vérification de ce tempo moteur spontané chez les personnes atteintes de la MA et de la mise en relation avec la production spontanée de mouvements rythmiques ainsi que de la fréquence des EFE chez ces participants nous permettrait de clarifier l'impact du tempo sur ces comportements.

Cette analyse met en évidence des résultats différents non seulement entre la production spontanée des comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle et ceux liés au rythme de la musique mais aussi entre les performances de synchronisation du tapping au rythme de la musique (**chapitre 4, analyse complémentaire**) et les comportements décodés suggérant que les comportements produits spontanément et les mouvements de synchronisation ne sont pas sensibles aux mêmes variables et mesurent vraisemblablement des mécanismes différents.

Conclusion

Dans cette analyse complémentaire concernant uniquement les conditions musicales, nos résultats ont révélé que la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle comme les EFE chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer est influencée par l'interaction sociale pendant une tâche de synchronisation au rythme de la musique ainsi que par des caractéristiques temporelles telles que le tempo et la métrique. En revanche, aucun effet de la présence de la chanteuse, ni du tempo ou de la métrique n'a été trouvé sur la production spontanée de mouvements rythmiques. Toutefois, il reste difficile d'interpréter ces résultats en l'absence de données contrôles. La comparaison de ces résultats à ceux obtenus auprès de personnes présentant un vieillissement dit 'normal' permettrait de vérifier l'impact de la maladie d'Alzheimer sur ces comportements non verbaux.

Etude 2

Chapitre 6 : Influence de la présence d'un partenaire sur la synchronisation au rythme de la musique dans la maladie d'Alzheimer et dans le vieillissement physiologique

Matthieu Ghilain¹, Lise Hobeika¹, Micheline Lesaffre², PhD, Loris Schiaratura¹, PhD, Ashmita Singh³, Joren Six², PhD, Dominique Huvent⁴, MD, François Puisieux⁴, MD, and Séverine Samson^{*1,5}, PhD.

¹ PSITEC EA 4072, Université de Lille, Villeneuve d'Ascq, Lille, France

² IPEM, Department of Arts, Music and Theater Sciences, Ghent University, Belgium

³ University of Western Ontario, Canada

⁴ Hôpital des Bateliers, Lille, France

⁵ AP-HP, GH Pitié-Salpêtrière - Charles Foix, Paris, France

Résumé. Un impact de la maladie d'Alzheimer sur les capacités de synchronisation au rythme de la musique pourrait réduire l'engagement de ces personnes lors d'interventions musicales. Bien que nous ayons montré que la musique et le contexte social modulent les performances de synchronisation des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer, rares sont les études ayant examiné l'impact de la maladie d'Alzheimer sur les capacités de synchronisation au rythme de la musique. Dans cette étude, nous avons comparé les performances de synchronisation et la quantité de mouvements spontanés chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer et chez des témoins. Cet examen a été effectué au cours d'une tâche de synchronisation au rythme du métronome et de la musique, réalisée en action conjointe avec un chanteur en présence physique et à travers un enregistrement audio-visuel. Les résultats n'ont pas montré de différence entre les groupes sur la synchronisation démontrant une préservation des capacités de synchronisation des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. Toutefois, la maladie réduit la quantité de mouvements produits en réponse à la musique suggérant que la maladie d'Alzheimer diminue l'engagement moteur à la musique. Bien que l'interaction sociale avec un chanteur n'augmente pas la quantité de mouvements en réponse à la musique, la présence physique du chanteur diminue la constance et l'asynchronie moyenne négative par comparaison à la condition pré-enregistrée. Cet effet était néanmoins plus important en réponse au métronome qu'à la musique suggérant que la musique est suffisamment stimulante pour

maintenir l'attention des participants sur la tâche de synchronisation. Ces résultats mettent ainsi en évidence une préservation des capacités de synchronisation au rythme de la musique des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer par comparaison à des participants présentant un vieillissement physiologique 'normal'. De plus, cette étude révèle que la synchronisation du tapping et la production de mouvements spontanés sont influencés différemment par la musique et l'interaction sociale dans la maladie d'Alzheimer et le vieillissement physiologique.

Mots-clés : Synchronisation, Musique, Maladie d'Alzheimer, Interaction sociale, Troubles cognitifs, Tempo, Mouvement

Introduction

Dans les interventions musicales dites « actives », les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer (MA) ou de maladies apparentées sont souvent stimulées à bouger au rythme de la musique avec d'autres participants. La production spontanée de mouvements en réponse à la musique chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer suggère une préservation au moins partielle du couplage audio-moteur dans la maladie d'Alzheimer [1,2]. Or, l'activité de synchronisation au rythme de la musique, particulièrement en action conjointe, pourrait induire du plaisir et renforcer les liens sociaux chez les personnes atteintes de maladies neurodégénératives comme le suggèrent plusieurs revues [3,4]. Cette possible préservation du couplage audio-moteur pourrait ainsi contribuer à maintenir le plaisir de bouger au rythme de la musique. Cependant, il n'est pas clair si les capacités de synchronisation au rythme de la musique sont préservées dans la maladie d'Alzheimer. Les résultats de notre précédente étude (**étude 1 chapitre 4**) ont montré que les mouvements de synchronisation de la main (tâche de tapping) réalisés par des personnes atteintes de MA ou de maladies apparentées en réponse au rythme de séquences auditives varient en fonction des caractéristiques temporelles de ces séquences (métronome vs musique, tempo rapide vs lent). Ils sont également influencés par la présence d'une chanteuse réalisant la tâche avec eux montrant que la présence physique d'une chanteuse module différemment la synchronisation par comparaison à un enregistrement de celle-ci. Néanmoins, ces différents facteurs n'ont pas montré d'effet sur la quantité de mouvements corporels produits spontanément au cours de la tâche de synchronisation. N'ayant pas pu comparer ces résultats à ceux de participants contrôles âgés appariés aux personnes présentant une MA, il reste difficile de déterminer si la synchronisation et l'engagement moteur en réponse à la musique sont affectés par la pathologie neurodégénérative de type MA.

La 2^{ème} étude de cette thèse visait à examiner le tapping moteur spontané ainsi que la synchronisation sensorimotrice de la main (tâche de tapping) et la quantité de mouvements corporels spontanés produits en réponse au rythme de séquences auditives par des personnes atteintes de la MA en comparaison à des participants contrôles. Dans cette étude, nous avons comparé ces comportements entre les deux groupes de participants afin de vérifier l'impact de la pathologie sur la synchronisation et sur l'engagement moteur à la musique au cours de l'activité de synchronisation en action conjointe. De plus, nous avons examiné l'influence du contexte social sur ces comportements dans les deux groupes afin de vérifier si l'action conjointe d'un chanteur en présence physique et pré-enregistrée modulait différemment la synchronisation et la quantité de mouvements dans le groupe MA par comparaison au groupe contrôle.

Le tapping moteur spontané consiste à taper régulièrement avec la main à un tempo confortable (ni trop rapide, ni trop lent) et permet de mesurer le tempo préférentiel d'un individu [5]. En plus d'évaluer le contrôle moteur, cette tâche permet d'obtenir une mesure du tempo interne impliqué dans les représentations du timing d'un individu [6]. Selon Rabinowitz et Lavner [7], le tempo moteur spontané des personnes atteintes de la MA serait ralenti par rapport à celui des participants contrôles. De plus, cette aptitude semble dépendante des capacités de mémoire de travail et d'attention. Cependant, cet effet n'a pas été validé par les résultats d'une étude récente [8]. Cette absence de résultat s'explique peut-être par la petite taille d'échantillon examiné ($n = 9$ pour MA et $n = 12$ pour contrôles) et l'importante variabilité des résultats obtenus.

Selon quelques études, les mesures du tapping moteur spontané pourraient prédire la synchronisation du tapping aux beats du métronome, les deux tâches impliquant des processus liés aux représentations du timing et au contrôle moteur [9,10]. Ainsi, l'examen des performances à ces deux tâches chez des personnes atteintes de la MA et chez des témoins permettrait de vérifier si le tapping moteur spontané est lié à la synchronisation en réponse aux beats du métronome et au rythme de la musique. De plus, une comparaison de ces deux tâches entre le groupe MA et le groupe contrôle permet de vérifier l'impact de la MA sur le processus de couplage audio-moteur.

Dans la littérature, quelques études ont examiné la synchronisation aux beats du métronome dans la MA. Les résultats ont mis en évidence une augmentation de la variabilité des performances chez les patients présentant une MA par comparaison à des participants contrôles, qu'il s'agisse de beats auditifs ou visuels, dans des tâches de continuation de phase [8,11]. Selon ces auteurs, les fluctuations des performances des patients s'expliqueraient par l'atteinte de la

mémoire de travail, des fonctions exécutives et du contrôle de l'attention, fréquemment observée dans la MA [12–17], ces aptitudes cognitives étant impliquées dans la prédiction des beats [18–21]. Ainsi, l'influence de la MA sur la synchronisation et sur le tapping moteur spontané suggère donc, selon certaines études, que les troubles cognitifs et le déclin moteur induits par la maladie augmentent la variabilité de la synchronisation aux beats du métronome et ralentissent le tempo moteur spontané.

La synchronisation au rythme de la musique a été observée chez des personnes atteintes de la MA dans une étude précédente (**étude 1, chapitre 4**) mais sans comparaison à un groupe contrôle ne permettant pas de vérifier si la maladie a un impact sur cette synchronisation. Par conséquent, nous avons comparé la performance de synchronisation au rythme de la musique entre des personnes atteintes de la MA et des participants contrôles dans cette présente étude. Cependant, cette précédente étude nous renseigne sur l'influence de séquences auditives (métronome vs musique) et de différents tempi (667 ms vs 800 ms) ainsi que sur l'effet du contexte social sur les performances de synchronisation et sur la quantité de mouvements produits par des personnes atteintes de la MA. L'impact de ces facteurs était observé en présence physique et pré-enregistrée d'une chanteuse qui réalisait la même tâche de synchronisation que les participants. Les résultats de cette précédente étude ont mis en évidence que la présence physique de la chanteuse modulait la constance de la synchronisation et les asynchronies signées en réponse au rythme de la musique mais pas en réponse au métronome par comparaison à l'enregistrement de celle-ci. De plus, il a été trouvé que le tempo plus lent (800 ms) présente un effet du contexte social plus important qu'avec un tempo plus rapide (667 ms). Cependant, aucun effet de ces facteurs n'a été trouvé sur la quantité de mouvements (*Quantity of Motion*, QOM) produits par les participants. Le déclin cognitif et moteur dans la MA ainsi que l'âge pourraient avoir un impact sur la réponse motrice à la musique comme suggéré par plusieurs études (**étude 1, chapitre 4** et [22–24]). Ainsi, nous examinons dans cette présente étude les effets des séquences auditives et du contexte social sur la performance de synchronisation et sur la quantité de mouvements chez des personnes atteintes de la MA et des participants contrôles. Cet examen permettrait de vérifier si les effets de la musique et de l'interaction sociale varient en fonction du groupe. Etant donné l'impact de la MA sur la synchronisation aux beats du métronome [8,11] et l'impact de la complexité rythmique de la musique sur la synchronisation par comparaison au métronome [9,25,26], il est attendu que la MA augmente la variabilité de la synchronisation au rythme de la musique ainsi que l'effet du

contexte social sur les performances de synchronisation par comparaison au vieillissement 'normal'.

Comme l'effet du contexte social sur la synchronisation a été trouvé en particulier sur un tempo plus lent (800 ms) par comparaison à un tempo plus rapide (667 ms), les séquences auditives de cette présente étude adoptent ce tempo plus lent. Un lien pourrait être trouvé entre ce tempo plus lent et le tempo moteur spontané chez les participants. Certaines preuves ont en effet été avancées selon lesquelles l'attention portée aux beats externes est plus importante quand le tempo des séquences auditives (ou l'intervalle entre les beats) est proche du tempo moteur spontané d'après la *Dynamic Attending Theory* [27]. Ainsi, la synchronisation au rythme de séquences auditives entraîne moins d'asynchronie et de variabilité avec un tempo correspondant au tempo moteur spontané [28]. Sur base des résultats d'une étude antérieure, il a été montré que le tempo moteur spontané des personnes atteintes de la MA est de 747 ms [7]. Ainsi, le tempo de 800 ms devrait être adapté pour la synchronisation au rythme de séquences auditives chez les personnes atteintes de la MA. L'examen du tempo moteur spontané nous permettrait de vérifier si l'intervalle de 800 ms entre les beats correspond au tempo préféré des personnes atteintes de la MA et des participants présentant un vieillissement physiologique 'normal'. De plus, l'examen du lien entre le tempo moteur spontané avec la synchronisation et la QOM des participants permettrait aussi de vérifier si les mesures du tapping moteur spontané prédisent les performances de synchronisation et la QOM.

Le but de cette présente étude est donc de comparer le tapping moteur spontané ainsi que la synchronisation du tapping et la QOM produites durant une tâche de synchronisation au rythme de séquences auditives chez des personnes atteintes de la MA et des participants contrôles présentant un vieillissement physiologique. Pour ce faire, la synchronisation et la QOM en réponse au métronome et à la musique ont été mesurées dans une tâche de synchronisation dans le cadre d'une action conjointe entre un musicien et le participant. Dans une condition (présence physique), un chanteur réalisait la même tâche de synchronisation en face du participant alors que dans l'autre condition (présence pré-enregistrée), le participant réalisait la tâche face à un écran projetant un enregistrement audio-visuel de ce chanteur réalisant la même tâche en grandeur nature à la place du chanteur en présence physique. L'étude de ces différents facteurs a été réalisée afin de vérifier un possible impact de la MA sur la performance de synchronisation et sur la quantité de mouvements.

Selon nos prédictions, la tâche de tapping moteur spontané devrait montrer un ralentissement du tempo moteur spontané chez les participants atteints de la MA par comparaison aux témoins.

Il est également attendu que le tempo moteur spontané et la variabilité du tapping prédisent les performances de synchronisation et la QOM des participants. La synchronisation devrait également être plus constante et plus anticipée (asynchronie moyenne négative) avec le métronome qu'avec la musique comme le montrent les résultats de plusieurs études (**étude 1 chapitre 4**, [9,25,26]) alors que la QOM devrait être plus élevée en réponse à la musique qu'au métronome [29,30]. Il est attendu également que la synchronisation soit plus constante et plus précise (asynchronie négative moins élevée) dans le groupe contrôle que dans le groupe MA [8,11], particulièrement dans les conditions musicales. De plus, la présence physique du chanteur devrait réduire la constance de la synchronisation (SMS) et l'anticipation des beats (ou l'asynchronie moyenne négative), davantage avec la musique qu'avec le métronome. Il se peut également que le contexte social ait une influence plus importante avec le groupe MA qu'avec le groupe contrôle. Il est aussi attendu que la QOM soit plus élevée dans le groupe contrôle que dans le groupe MA et davantage en réponse à la musique qu'au métronome. Enfin, la présence physique du chanteur devrait augmenter la QOM davantage avec la musique qu'avec le métronome [31].

Matériel et méthodologie

Participants

Nonante-sept participants ont été inclus dans cette étude. Les participants ont été recrutés à l'hôpital de jour des Bateliers (Lille, France) dans le contexte d'une évaluation multidisciplinaire réalisée en raison de problèmes de mémoire (n = 58), ou comme prévention à des risques de chute (n = 30). Certains aidants de ces patients ont été également recrutés, ne présentant ni de troubles cognitifs, ni de troubles moteurs (n = 9). Le diagnostic de maladie d'Alzheimer ou de maladies apparentées a été posé par un gériatre à la fin de la journée d'hospitalisation. Les participants ont donc été assignés au groupe de personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer (MA) ou de maladies apparentées ou au groupe contrôle après avoir participé à l'étude.

Les critères d'inclusion à cette étude étaient les suivants : 1) être droitier, 2) une atteinte probable de la maladie d'Alzheimer (MA avec ou sans étiologie vasculaire) ou de démence vasculaire sur base des critères du DSM-V (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5^e édition, [32]) pour le groupe MA, 3) absence de diagnostic de maladie neurodégénérative accompagnée de peu ou pas de trouble cognitif pour le groupe contrôle, 4)

avoir le français comme langue maternelle pour assurer la familiarité avec la chanson sélectionnée, 5) être âgé entre 60 et 99 ans, 6) absence de troubles auditifs et/ou visuels pouvant perturber le bon déroulement de la tâche, et 7) capacité physique et cognitive de participer à la tâche. De plus, l'efficacité cognitive globale et la sévérité du déclin cognitif ont été évaluées pour l'ensemble des patients par le Mini-Mental State Examination (MMSE [33]) dans les quatre mois préalables à la venue du participant à l'hôpital. Tous les participants ont également répondu à plusieurs questionnaires incluant le *Questionnaire d'Expertise Musicale* [34], le questionnaire d'humeur *State-Trait Anxiety Inventory* (STAI, [35]), et le questionnaire *Activities of Daily Living* (ADL, [36]) évaluant l'autonomie. Les deux premiers questionnaires étaient administrés par un psychologue (M. Ghilain) aveugle du groupe d'appartenance et le troisième par une infirmière. L'évaluation de l'impact des troubles comportementaux avec *Neuropsychiatric Inventory* (NPI, [37]) et la détresse de l'aidant avec *Zarit Burden Interview* (mini-Zarit, [38]) a également été réalisée par l'infirmière pour les patients venant pour un dépistage des troubles cognitifs ou d'une éventuelle maladie neurodégénérative. La **Table 1** rapporte les scores aux tests et aux questionnaires présentés à tous les participants. Les scores des autres tests et questionnaires sont rapportés par groupe dans l'**Annexe 1**.

Sur base de cette évaluation, seuls les participants présentant un score inférieur à 26 au MMSE ont été inclus dans le groupe MA (MMSE moyen = 20.2 ; écart-type = 3.6). Ainsi, le groupe MA est constitué de 48 personnes atteintes d'une MA (11 avec MA sans étiologie, 32 avec MA avec étiologie vasculaire et 5 avec démence vasculaire) âgées de 70 à 92 ans (âge moyen = 82.8 ans ; écart-type = 5.5). Le groupe de contrôles comprend des personnes âgées de 73 à 91 ans (âge moyen = 80.9 ans ; écart-type = 5.2) ayant obtenu un score supérieur ou égal à 26 au score MMSE (MMSE moyen = 28.1 ; écart-type = 1.2). Les informations démographiques et cliniques sont présentées à la **Table 1**. L'étude a reçu l'approbation du Comité de Protection des Personnes (CPP) ainsi que de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL).

Epreuves cognitives

Une partie des participants, notamment ceux étant venus à la consultation pour des problèmes de mémoire, ont bénéficié d'une évaluation cognitive plus approfondie comprenant des tests de mémoire de travail, de mémoire épisodique, d'attention et de vitesse de traitement, de langage ainsi que des tests exécutifs, visuo-spatiaux et de praxies gestuelles. Le détail des scores sont rapportés dans l'**Annexe 1**. Ces épreuves ont été réalisées en une seule séance (1h30

approximativement) par une des trois psychologues du service (C. Jougleux, S. Schoenenburg et A. Clerckx). Si des troubles cognitifs étaient observés par le neurologue ou le gériatre chez les personnes venues consultées à la suite d'une chute, il était proposé au patient de revenir pour un dépistage de maladie neurodégénérative.

Matériel auditif

Parmi les séquences auditives (durée de 60 secondes chacune), les séquences métronomiques sont composées de beats réguliers présentés à un tempo 'modéré' (*Inter-Onset Interval*, IOI de 800 ms). Les séquences musicales correspondent à un extrait musical d'une chanson populaire française (« Java bleue »), très connue des personnes âgées. Cet extrait musical présente une métrique ternaire (beat fort sur le premier des 3 beats de la métrique) et un tempo modéré (intervalle de 800 ms entre les beats forts). Les stimuli auditifs ont été présentés à un niveau auditif confortable (75 dB) et traités par le logiciel Audacity (Free Software Inc., Boston).

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est le même que celui utilisé dans l'**étude 1 (chapitre 4)**. Deux plaques de force ont été disposées l'une en face de l'autre. Sur l'une des plaques se trouve la chaise du participant, équipée d'une tablette fixée sur l'accoudoir droit, qui permet de taper avec la main droite au rythme des séquences auditives. Sur l'autre plaque de force, le chanteur est assis, face au participant avec une tablette tenue de sa main gauche qui permet de taper avec la main droite au rythme des séquences auditives. Les capteurs de mouvements placés sous la tablette du participant et sous celle du chanteur permettent de mesurer la synchronisation du tapping. Les capteurs situés sous les plaques de force (un sous chaque coin et un sous les pieds) permettent de mesurer la quantité de mouvements (QOM).

Procédure

Après avoir installé le participant sur la chaise, une tâche de tapping moteur spontané (*spontaneous motor tapping*, SMT) lui a été administré en lui demandant de taper sur la tablette au tempo qu'il souhaitait et de maintenir ce tempo jusqu'à ce que le chanteur lui demandait d'arrêter (soit 30 tapes). Ensuite, il a été demandé au participant de taper avec sa main droite au rythme de séquences auditives présentés à travers de haut-parleurs. Deux types de séquences

auditives ont été utilisés, d'une durée de 60 secondes chacune. Dans la condition Métronome, le participant tapait en synchronisation aux beats réguliers du métronome (IOI de 800 ms). Dans la condition Musique, le participant tapait en synchronisation aux beats forts d'un extrait musical (« Java bleue », intervalle entre les beats forts de 800 ms). Chacune de ces conditions a été réalisée dans deux contextes sociaux différents. Dans la condition Présence physique, le chanteur chantait et réalisait la tâche en même temps que le participant. La distance séparant le participant du chanteur était de 200 cm. Dans la condition Présence pré-enregistrée, le chanteur était remplacé par un grand écran (158 cm x 92 cm) sur lequel était diffusé son enregistrement en grandeur réelle (distance de 215 cm entre le participant et l'écran). Deux webcams et une vidéo-caméra enregistraient le participant et le chanteur durant les tâches. Le dispositif expérimental composé des deux chaises était entouré d'un rideau qui permettait d'isoler le participant des événements distrayants pendant l'étude. Les quatre conditions expérimentales (séquences métronomiques et musicales en présence physique et pré-enregistrée du chanteur) ont été proposées dans un ordre aléatoire à chaque participant au cours d'une seule session.

Mesures

Pour la tâche de tapping moteur spontané (SMT), la moyenne des intervalles entre les tapes (*Inter-Tap Interval*, ITI) et la variabilité du tapping indiquée par le coefficient de variation des ITIs (CV des ITIs, calculé par l'écart-type des ITIs divisé par la moyenne des ITIs) ont été mesurées en millisecondes. Parmi les 30 tapes enregistrées, l'analyse a été réalisée sur 20 tapes. Les sept premières et trois dernières tapes ont été retirées de l'analyse.

Les réponses du tapping des participants dans la tâche de synchronisation ont été analysées à l'aide de statistiques circulaires [39] à partir d'une Toolbox Matlab [40] selon la même méthode qu'utilisée préalablement (**étude 1, chapitre 4**). Chaque tape produite sur la tablette a été convertie sur une échelle circulaire de -180 à +180 degrés, l'occurrence du stimulus apparaissant à zéro. Les angles formés par l'écart entre la tape et le beat ont été moyennés pour calculer le vecteur moyen résultant R de l'ensemble des tapes pour chaque condition [39,40]. Ce vecteur fournit deux mesures de synchronisation. La première correspond à la *constance* de la SMS (i.e. variabilité) qui est définie par la longueur du vecteur R . Avant de réaliser les analyses statistiques, les valeurs de la longueur du vecteur ont été soumises à une transformation logistique comme dans de précédentes études [9,41,42,26]. Plus la valeur est élevée, plus la synchronisation est régulière. La deuxième mesure correspond à la *précision* de la SMS qui est définie par la direction du vecteur ou l'écart angulaire (θ) par rapport à zéro (angle entre la tape

et l'apparition stimulus). La direction du vecteur indique le signe de l'asynchronie entre la tape et le stimulus. Les valeurs de chaque écart angulaire ou *asynchronies signées* sont soit négatives quand le participant tape avant l'apparition du stimulus, soit positives quand il tape après l'apparition du stimulus [9]. Les valeurs moyennes de chaque écart angulaire sont exprimées en degrés. Etant donné que notre étude implique des mesures répétées, les angles du vecteur ont été convertis en millisecondes ($\text{angle}/360^\circ * 667$ ou 800) afin d'utiliser une analyse statistique linéaire. Le test de Rayleigh [43] a été utilisé afin d'évaluer si les tapes des participants étaient distribuées aléatoirement (hypothèse nulle = distribution aléatoire des tapes sur l'échelle circulaire). Seules les données significatives au test de Rayleigh ont été incluses dans les analyses. Dans notre analyse, seul un participant a montré un test non-significatif pour une condition. Par conséquent, cette valeur a été remplacée par la moyenne de groupe pour cette condition. Pour chaque condition, 64 beats ont été retenus pour les analyses. Les huit premiers et deux derniers beats et tapes dans les conditions métronomiques et les douze premiers et trois derniers beats forts et tapes dans les conditions musicales ont été retirés de l'analyse pour obtenir 64 beats dans chacune des quatre conditions.

La QOM des participants et du chanteur a été mesurée en utilisant les données recueillies avec des capteurs placés sous les plaques de force (4 capteurs pour chaque coin et 1 pour les pieds) [31,44]. Les données brutes ont été converties en millivolts (mV) pour calculer les variations de poids exercées sur la plaque de force, ce qui donne un indicateur de la QOM. Plus le participant bouge, plus la valeur de QOM augmente.

La performance de synchronisation du chanteur a également été contrôlée sur base des mêmes 64 beats. L'absence de tape supplémentaire ou manquante dans ce cas ne justifie pas l'utilisation de statistiques circulaires. La précision et la variabilité de la synchronisation ont été calculées respectivement par la moyenne et par l'erreur standard (SE) des asynchronies signées exprimées en millisecondes.

Résultats

Analyses préliminaires

Les comparaisons entre les groupes sur base des données démographiques ont été réalisées par des t-tests quand les distributions étaient normales et par le test Wilcoxon Mann-Whitney U quand au moins une des distributions n'était pas normale. Un test de χ^2 Pearson a été utilisé pour la comparaison des ratios de genre et de niveau socio-culturel (NSC).

Les résultats des analyses ont montré que les deux groupes (groupe MA et groupe contrôle) ne se différencient pas en termes d'âge, de genre, de niveau socio-culturel (NSC), d'expertise musicale, et sur le score au questionnaire d'humeur STAI (**Table 1**). En revanche, les deux groupes se différencient au niveau de la sévérité des troubles cognitifs évaluée par le MMSE ($p < .001$) et au niveau de l'autonomie évaluée par l'ADL ($p < .001$). Les moyennes et écarts-types de l'ensemble des scores obtenus aux tests cognitifs et aux questionnaires cliniques pour les deux groupes sont rapportés dans l'**Annexe 1**.

Table 1. Caractéristiques des groupes (moyennes \pm écarts-types)

	MA (N = 48)	Contrôle (N = 49)	p
Age	82.8 \pm 5.5	80.9 \pm 5.2	.08
Genre (homme/femme)	10/38	12/37	.66
NSC ^a	8/26/6/8	7/19/9/14	.34
Questionnaire d'expertise musicale (/28)	4.3 \pm 3.1 ^b	4.8 \pm 3.2	.46
MMSE (/30)	20.2 \pm 3.6 ^b	28.1 \pm 1.2	< .001
ADL (/6)	5.0 \pm 0.9 ^b	5.7 \pm 0.6	< .001
STAI (/40)	29.4 \pm 10.8 ^b	33.2 \pm 12.3	.08

Mann-Whitney U tests pour la comparaison inter-groupe sauf pour l'âge (t-test), le genre et le NSC (test Chi²).

^a NSC, Poitrenaud (2001) : niveau socio-culturel en 4 catégories

^b donnée manquante pour un participant

Tâche de tapping moteur spontané

Les moyennes des ITIs et du CV du tapping par groupe (groupe MA et groupe contrôle) sont rapportées à la **Table 2**.

Le t-test réalisé sur la moyenne des ITIs n'a pas révélé de différence entre le groupe MA et le groupe contrôle. De même, le test de Wilcoxon n'a pas montré de différence significative entre les groupes sur le CV du tapping.

Table 2. Intervalle moyen entre les tapes (ITI) et du coefficient de variation (CV) des participants en millisecondes en fonction du Groupe dans la tâche de tapping moteur spontané, (M ± SE).

	MA (N = 48)	Contrôle (N = 49)
ITI	729.7 ± 44.75	790.3 ± 35.09
CV	.08 ± .008	.07 ± .006

MA = Maladie d'Alzheimer

Tâche de synchronisation

Les scores de constance (longueur du vecteur transformée) et des asynchronies signées ainsi que les scores de la quantité de mouvements obtenus pour les participants du groupe MA et ceux du groupe contrôle pour chaque condition sont présentés à la **Table 3**.

Table 3. Constance de la synchronisation (longueur du vecteur transformée), asynchronies signées (en ms) et quantité de mouvements (QOM en millivolts, mV) des participants par groupe en réponse au métronome et à la musique en présence physique et pré-enregistrée du chanteur, (M ± SE).

Mesures	Conditions		MA (N = 48)	Contrôle (N = 49)
Constance (longueur du vecteur)	Métronome	Physique	1.40 ± .10	1.50 ± .11
		Pré-enregistrée	2.17 ± .17	2.26 ± .15
	Musique	Physique	1.10 ± .12	.99 ± .07
		Pré-enregistrée	.97 ± .10	1.15 ± .12
Asynchronies signées (ms)	Métronome	Physique	-25.71 ± 10.57	-8.96 ± 11.63
		Pré-enregistrée	-77.54 ± 12.41	-79.62 ± 11.30
	Musique	Physique	22.31 ± 11.81	20.19 ± 9.55
		Pré-enregistrée	31.18 ± 11.82	34.48 ± 11.06
QOM (mV)	Métronome	Physique	.72 ± .05	.79 ± .04
		Pré-enregistrée	.75 ± .05	.80 ± .05
	Musique	Physique	.81 ± .05	1.20 ± .19
		Pré-enregistrée	.80 ± .06	.95 ± .06

Constance de la synchronisation

Une MANOVA à trois facteurs avec deux mesures répétées 2 (Présence) x 2 (Auditif) a été réalisée sur la constance de la SMS obtenue par les participants du groupe MA et du groupe contrôle. Les résultats ont mis en évidence une interaction significative entre les facteurs Présence et Auditif ($F(1, 95) = 32.44, p < .001, \eta p^2 = .25$). Comme le montrent les comparaisons *post hoc* (tests de Fisher), la SMS était plus constante dans la condition présence pré-enregistrée ($M = 2.21 \pm .11$) que dans la condition présence physique du chanteur ($M = 1.45 \pm .07$) pour le métronome ($p < .001$), ce qui n'était pas le cas pour la musique (**Figure 1**).

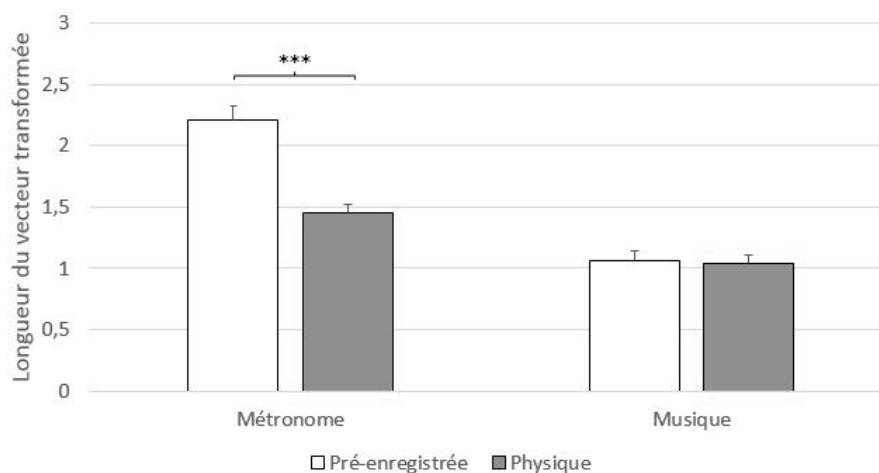


Figure 1. Constance moyenne de la synchronisation (longueur du vecteur transformée) des participants en réponse au métronome et à la musique (Auditif) en fonction de la Présence physique et pré-enregistrée du chanteur. Plus le score est élevé, plus la synchronisation est régulière. Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards. ***($p < .001$)

Un effet significatif du facteur Présence a aussi été trouvé sur la constance de la SMS ($F(1,95) = 29.48, p < .001, \eta p^2 = .24$) montrant que la synchronisation était plus constante dans la condition présence pré-enregistrée du chanteur ($M = 1.64 \pm .07$) que dans la condition présence physique du chanteur ($M = 1.25 \pm .06$). Un effet significatif du facteur Auditif a été observé ($F(1,95) = 70.60, p < .001, \eta p^2 = .43$) mettant en évidence que la synchronisation était plus constante en réponse aux beats du métronome ($M = 1.83 \pm .08$) que de la musique ($M = 1.05 \pm .06$). Le facteur Groupe et les autres interactions n'étaient pas significatifs.

Asynchronies signées

Une MANOVA à trois facteurs avec mesures répétées 2 (Présence) x 2 (Auditif) a été réalisée sur les asynchronies signées (en ms) obtenues par les participants du groupe MA et du groupe

contrôle. Les résultats ont mis en évidence une interaction significative entre les facteurs Présence et Auditif ($F(1, 95) = 49.58, p < .001, \eta p^2 = .34$). Comme le montrent les comparaisons *post hoc*, l'asynchronie moyenne négative (ou anticipation) était plus importante dans la condition pré-enregistrée du chanteur ($M = -78.58 \text{ ms} \pm 8.39$) que dans la condition Présence physique du chanteur ($M = -17.34 \text{ ms} \pm 7.86$) avec le métronome ($p < .001$), ce qui n'était pas le cas avec la musique (**Figure 2**).

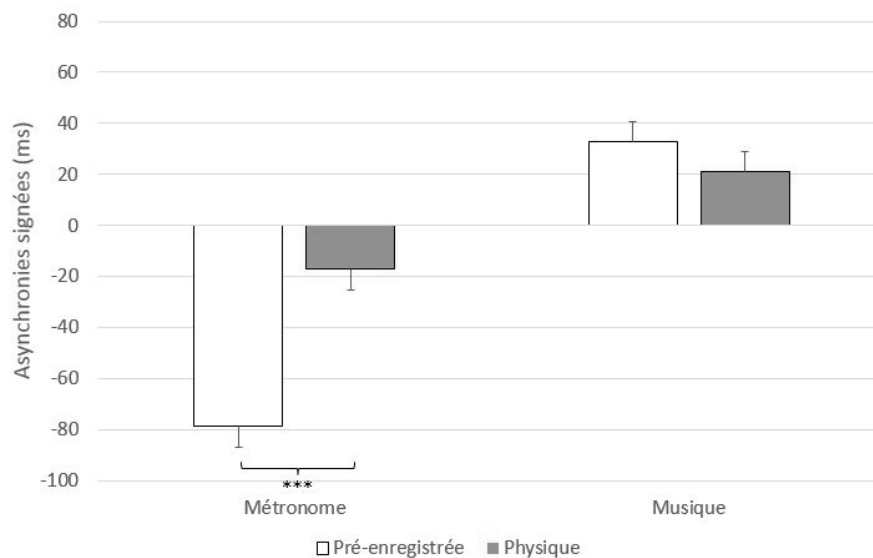


Figure 2. Asynchronies signées moyennes (en millisecondes) des participants en réponse au métronome et à la musique (Auditif) en fonction de la Présence physique et pré-enregistrée du chanteur. Une valeur négative indique que la tape précède le beat alors qu'une valeur positive correspond à une tape qui suit le beat. Plus le score est proche de 0, plus l'asynchronie est faible et la synchronisation précise. Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards. ***($p < .001$)

Les résultats des asynchronies signées ont aussi mis en évidence un effet du facteur Présence ($F(1,95) = 18.09, p < .001, \eta p^2 = .16$) montrant que l'asynchronie moyenne négative (ou l'anticipation) était plus importante dans la condition Présence pré-enregistrée ($M = -22.87 \text{ ms} \pm 6.63$) que dans la condition Présence physique du chanteur ($M = 1.99 \text{ ms} \pm 6.96$). Enfin, un effet du facteur Auditif a également été obtenu ($F(1,95) = 134.64, p < .001, \eta p^2 = .59$) mettant en évidence que l'asynchronie moyenne négative (ou l'anticipation) était plus importante avec le métronome ($M = -47.92 \text{ ms} \pm 6.95$) qu'avec la musique ($M = 27.04 \text{ ms} \pm 6.92$). Il n'y avait pas d'effet significatif du facteur groupe, ni aucune autre interaction significative.

Quantité globale de mouvements

Une MANOVA à trois facteurs avec mesures répétées 2 (Auditif) x 2 (Présence) a été réalisée sur la quantité de mouvements (QOM) obtenue par les participants du groupe MA et du groupe contrôle. Les résultats ont révélé une interaction significative entre les facteurs Groupe et Auditif ($F(1, 95) = 3.950, p = .050, \eta p^2 = .04$). Comme le montrent les comparaisons *post hoc* (Fisher tests), le groupe contrôle présente une QOM plus élevée en réponse à la musique ($M = 1.07 \text{ mV} \pm .11$) qu'au métronome ($M = .79 \text{ mV} \pm .06$; $p < .001$), ce qui n'est pas le cas pour le groupe MA (**Figure 3**).

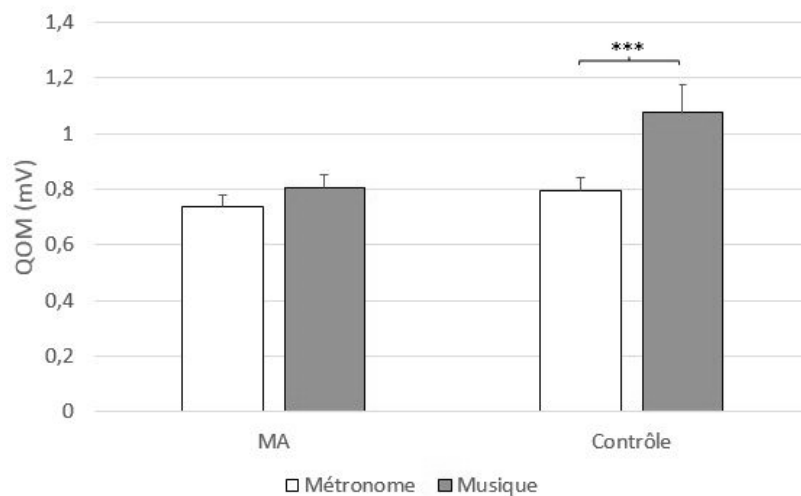


Figure 3. Quantité moyenne de mouvements (QOM en millivolts) des participants en réponse au métronome et à la musique (Auditif) en fonction du Groupe MA (groupe atteint de la maladie d'Alzheimer ou maladies apparentées) et du Groupe Contrôle. Plus le participant bouge, plus le score est élevé. Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards. ***($p < .001$)

Un effet significatif du facteur Groupe a été trouvé sur la QOM ($F(1,95) = 4.762, p = .032, \eta p^2 = .05$) montrant que la QOM était moins élevée dans le groupe MA ($M = .77 \text{ mV} \pm .04$) que dans le groupe contrôle ($M = .93 \text{ mV} \pm .06$). Un effet significatif du facteur Auditif a également été mis en évidence ($F(1,95) = 10.967, p = .001, \eta p^2 = .10$) démontrant que la QOM était plus élevée en réponse à la musique ($M = .94 \text{ mV} \pm .06$) comparée au métronome ($M = .76 \text{ mV} \pm .03$). Cependant, aucune autre interaction ou effet du facteur Présence n'était significatif.

SMS et QOM du chanteur

Les moyennes et erreurs standards (SE) des asynchronies signées ainsi que de la QOM du chanteur sont rapportées à la **Table 4**. L'évaluation du tapping du chanteur montre que sa synchronisation était très précise et sa tape légèrement plus retardée avec la musique qu'avec

le métronome. La variabilité était très faible dans les deux conditions. La QOM était plus élevée dans la condition musique que métronome, mais globalement, la QOM était plus importante chez le chanteur que chez les participants. Les tests non paramétriques (test de Wilcoxon) ont été réalisés uniquement sur la condition présence physique du chanteur.

Le test de Wilcoxon réalisé sur les asynchronies signées du chanteur a mis en évidence que les tapes étaient plus retardées avec la musique ($M = 4,35 \pm 0,16$ ms) qu'avec le métronome ($M = 0,57 \pm 0,15$ ms ; $Z = 8.21, p < .001$).

Le test de Wilcoxon réalisé sur la variabilité du tapping du chanteur a révélé que la variabilité était plus élevée dans la condition musique ($M = 1,12 \pm 0,02$ ms) que métronome ($M = 0,90 \pm 0,03$ ms ; $Z = 7.43, p < .001$).

Enfin, le test de Wilcoxon réalisé sur la QOM du chanteur a montré que la QOM était plus élevée dans la condition musique ($M = 3,54 \pm 0,14$ mV) que métronome ($M = 2,47 \pm 0,10$ mV ; $Z = 7.24, p < .001$).

Table 4. Moyennes et erreurs standards (quand disponibles) des asynchronies signées en millisecondes, de sa variabilité (SE) ainsi que de la quantité de mouvements (QOM en millisecondes) du chanteur en réponse aux séquences auditives (métronome et musique) en Présence physique et pré-enregistrée du chanteur.

Conditions		Asynchronies (ms)	SE (ms)	QOM (mV)
Métronome	Physique	.57 ± .15	.03 ± .00	2.50 ± .10
	Pré-enregistrée	-.13	-	-
Musique	Physique	4.35. ± .16	.04 ± .00	3.54 ± .14
	Pré-enregistrée	3.81	-	-

Corrélations

Des tests de corrélations de Pearson ont permis d'analyser pour chaque groupe le lien entre les mesures de SMS et de QOM des participants en réponse au métronome (moyenne des scores pour les conditions métronomiques) et à la musique (moyenne des scores pour les conditions musicales). Ces tests ont été effectués par groupe afin d'examiner de manière spécifique les liens qui existent entre les variables chez des personnes atteintes de la MA par comparaison aux participants contrôles.

Le test de corrélation Pearson effectué entre les mesures de synchronisation et la QOM en réponse au métronome dans le groupe MA n'a pas montré de résultat significatif. Cependant, le test réalisé avec le groupe contrôle a révélé que la QOM en réponse au métronome était corrélée à la constance ($r(47) = -.40, p = .005$) et à l'asynchronie signée ($r(47) = .44, p = .001$).

Le test de corrélation Pearson réalisé entre les mesures de synchronisation et la QOM en réponse à la musique dans le groupe MA n'a pas montré de résultat significatif. De même, il n'y avait pas de résultat significatif pour le test de corrélation réalisé avec le groupe contrôle.

Des tests de corrélations non paramétriques de Spearman (étant donné le rejet de la normalité de la distribution pour plusieurs variables) ont également été réalisés pour chaque groupe afin de vérifier le lien entre les mesures de SMT (moyenne et CV des ITIs) et le score MMSE, l'âge, l'expertise musicale, le score STAI et ADL chez des personnes atteintes de la MA et chez des participants contrôles. Cependant, aucun résultat significatif n'a été trouvé.

Lien entre le tapping moteur spontané et les mesures de SMS et de QOM

Une régression multiple (de type pas-à-pas) a été réalisée pour chaque groupe de participants afin de vérifier si la moyenne des ITIs et la variabilité du tapping moteur spontané (CV des ITIs) pouvaient expliquer la variance des mesures de synchronisation (constance et asynchronies signées) et de QOM en réponse à la musique (score moyenné des conditions musicales). Une autre régression multiple a été effectuée avec les mêmes variables et par groupe en réponse au métronome (score moyenné des conditions métronomiques).

Pour le groupe MA, les modèles de régression étaient significatifs pour les asynchronies signées en réponse à la musique ($Adj R^2 = .32, F(2,45) = 12.31, p < .001$) et pour la constance de la SMS ($Adj R^2 = .09, F(2,45) = 3.33, p = .045$), les asynchronies signées ($Adj R^2 = .27, F(1,46) = 18.77, p < .001$) et la QOM ($Adj R^2 = .09, F(1,46) = 5.57, p = .023$) en réponse au métronome. Cependant, aucun de ces modèles n'a présenté de résultat significatif dans le groupe contrôle. Pour le groupe MA, la moyenne des ITIs (mais pas la variabilité-CV) du tapping moteur spontané prédit l'asynchronie signée en réponse à la musique ($Beta = .60, p < .001$). En réponse au métronome, la moyenne des ITIs prédit la constance ($Beta = -.31, p = .035$), l'asynchronie signée ($Beta = .54, p < .001$) et la QOM ($Beta = .33, p = .023$). Ces résultats mettent en évidence que plus l'ITI est long (tempo moteur spontané lent), la constance est diminuée, le retard de la tape (ou asynchronie positive) et la QOM sont augmentés.

Lien entre SMS et QOM avec données démographiques, déclin cognitif et humeur

Deux régressions multiples (de type pas-à-pas) ont été réalisées sur l'ensemble des participants afin d'identifier les facteurs responsables de la variance des scores de constance, d'asynchronie et de QOM en réponse à la musique et au métronome. Comme prédicteurs de la variance des scores obtenus en réponse à la musique, nous avons sélectionné le groupe (MA et contrôle), l'âge, le genre, l'expertise musicale et le score de STAI (humeur). Le score MMSE (.82 avec groupe ; .37 avec ADL), le NSC (.31 avec expertise musicale) et le score ADL (.41 avec groupe) ont été écartés suite à des corrélations avec d'autres variables indépendantes dans cette régression.

Le modèle de régression était significatif dans la condition musique pour les asynchronies signées ($Adj R^2 = .12$, $F(2,94) = 7.28$, $p = .001$) et pour la QOM ($Adj R^2 = .15$, $F(3, 93) = 6.46$, $p < .001$) mais pas pour la constance de la SMS. Le modèle de régression dans la condition métronome n'a pas révélé de résultat significatif.

L'âge prédit les asynchronies signées en réponse à la musique ($Beta = .30$, $p = .002$) montrant que le retard de la tape est lié à un âge plus avancé. De plus, l'expertise musicale ($Beta = .28$, $p = .005$), le genre ($Beta = .23$, $p = .019$) et le groupe ($Beta = .21$, $p = .033$) prédisent la QOM en réponse à la musique mettant en évidence qu'un QOM plus élevée en réponse à la musique est lié à l'expertise musicale et au groupe contrôle, en particulier chez les hommes.

Lien entre SMS et QOM avec tests cognitifs

Deux régressions multiples (de type pas-à-pas) ont été testées afin d'observer si les performances à des tests liés à certaines fonctions cognitives spécifiques ont une influence sur la constance de la SMS, sur l'asynchronie et sur la QOM en réponse à la musique et au métronome.

Etant donné que l'évaluation cognitive complète n'a été réalisée que sur une partie des participants (30 MA et 14 contrôles), les régressions multiples (de type pas-à-pas) n'ont été testées que sur le groupe MA ($N = 30$). Comme prédicteurs, nous avons sélectionné les scores aux tests du Digit Span backward (mémoire de travail), du Stroop Victoria (attention et vitesse de traitement, partie dénomination), du TMT (fonctions exécutives, condition B - condition A) et des praxies gestuelles dans l'analyse. Ces prédicteurs ont été sélectionnés en fonction de la pertinence du prédicteur (test spécifique à une fonction et absence de redondance entre les tests) et par rapport aux liens démontrés dans la littérature entre les fonctions cognitives et la

synchronisation sensorimotrice comme l'attention, la mémoire de travail et les fonctions exécutives. Les tests restants (cf. **Annexe 1**) n'ont pas été inclus notamment suite à une corrélation avec les tests présentés ci-dessus. Pour éviter un biais de redondance, ceux-ci ont été écartés de l'analyse de régression.

Les modèles de régression n'ont pas mis en évidence de résultat significatif ni dans la condition musicale ni dans la condition métronomique.

Discussion

Le but de notre étude était d'examiner si le vieillissement pathologique lié à l'apparition d'une maladie d'Alzheimer (MA) par comparaison au vieillissement physiologique a un impact sur les performances de synchronisation et la quantité de mouvements (QOM) produits en réponse au métronome et à la musique. Cette étude visait également à vérifier si l'effet de la présence physique d'un chanteur sur ces comportements par comparaison à l'enregistrement audio-visuel de celui-ci est différent chez les personnes atteintes de la MA et chez les participants contrôles. Les résultats principaux obtenus ont mis en évidence que les performances au tapping moteur spontané et à la tâche de synchronisation aux beats du métronome et au rythme de la musique ne diffèrent pas entre les groupes MA et contrôle. En revanche, les groupes diffèrent sur la QOM montrant une activité motrice plus élevée en réponse à la musique qu'au métronome pour le groupe contrôle mais pas pour le groupe MA. Nous avons trouvé également tant dans le vieillissement 'normal' que dans la maladie d'Alzheimer qu'il n'y a pas de différence entre la présence physique et pré-enregistrée du chanteur sur la synchronisation au rythme de la musique. Cependant, la présence physique du chanteur réduit la constance de la SMS et l'asynchronie moyenne négative (ou anticipation) en réponse au métronome.

Tempo moteur spontané dans la maladie d'Alzheimer et dans le vieillissement normal

Le tapping moteur spontané (SMT) ne présente pas de différence entre le groupe MA et le groupe contrôle tant sur la moyenne des ITIs (tempo moteur spontané) que sur la variabilité du tapping (CV). De plus, aucun lien n'a été trouvé entre le déclin cognitif et les mesures de SMT. Ce résultat est en cohérence non seulement avec les résultats d'une autre étude [8] mais aussi avec l'absence de différence observée entre les groupes sur la performance de synchronisation comme nous le discutons ci-dessous.

L'absence de différence entre les groupes sur le tempo moteur spontané diverge toutefois des données présentées précédemment [7]. Dans cette étude, un ralentissement moteur a été trouvé chez des personnes atteintes de la MA présentant un tempo de 747 ms par comparaison au tempo de 581 ms du groupe contrôle. Bien que le tempo moteur spontané des personnes avec MA (730 ms) dans notre étude s'apparente à celui obtenu par Rabinowitz et Lavner, les participants contrôles semblent plus lents (790 ms) que chez les témoins de cette étude antérieure (581 ms). Il est donc possible que l'absence de différence entre les groupes dans notre étude proviennent de la composition du groupe contrôle. Même si l'âge des participants et le déclin cognitif sont équivalents entre les deux études (83 ans et moins de 23 au MMSE dans groupe MA, 81 ans et plus de 23 au MMSE dans l'étude de Rabinowitz et Lavner), le groupe contrôle dans notre étude inclut principalement des patients étant venus pour une évaluation pour risque de chute. Or, même si ces participants ne présentent pas ou peu de troubles cognitifs, il a été démontré que les troubles moteurs notamment liés à la marche et aux chutes peuvent être un prédicteur de l'apparition de la maladie de Parkinson et même de la maladie d'Alzheimer [45–47]. Par conséquent, un biais pourrait être présent dans la comparaison entre les groupes sur les tâches de tapping moteur spontané et de synchronisation. Un suivi des participants du groupe contrôle permettrait par exemple d'exclure les patients ayant reçu ultérieurement un diagnostic de ces maladies.

L'examen du lien entre les performances de la SMT et de la SMS nous informe également que le tempo moteur spontané prédit la constance de la SMS et la direction des asynchronies signées mais davantage en réponse au métronome qu'à la musique, comme le montre une étude présentant un lien entre les mesures de SMT et les performances de SMS uniquement dans les conditions métronomiques [9]. Dans nos résultats, le ralentissement moteur trouvé à travers le SMT dans le groupe MA prédit un retard de la tape en réponse à la musique. De même, le ralentissement moteur dans le groupe MA prédit un retard de la tape ainsi qu'une réduction de la constance de SMS en réponse au métronome. Ces résultats suggèrent que le ralentissement moteur conduit à une surestimation de l'intervalle entre les beats [10]. Cependant, ces résultats ont été observés dans le groupe MA mais pas dans le groupe contrôle. L'absence de ce lien dans le groupe contrôle peut s'expliquer par le fait que le tempo moteur spontané (790 ms) chez ces participants est très proche du tempo des séquences auditives (800 ms). Par conséquent, le tempo moteur spontané autour de 800 ms aurait peu d'influence sur la variance des asynchronies ou de la constance de synchronisation dans le groupe contrôle. Ces résultats indiquent également que les participants du groupe MA pourraient avoir plus de difficultés à se

synchroniser, particulièrement avec les beats du métronome car leur tempo moteur spontané s'éloigne du tempo des séquences auditives comme le démontrent plusieurs études [10,28]. Cependant, cette influence de groupe pourrait être limitée comme le montrent les résultats des performances de synchronisation dans les groupes.

Synchronisation dans la maladie d'Alzheimer et dans le vieillissement normal

Contrairement à nos prédictions, les performances de synchronisation au rythme de la musique et du métronome ne diffèrent pas entre les groupes MA et contrôle. Cette absence de différence met en évidence que la MA à des stades modérés n'interfère pas la synchronisation dans ce type de tâche malgré un déclin cognitif significatif des participants du groupe MA par comparaison au groupe contrôle. Comme les tâches de SMS et de SMT évaluent les capacités liées aux représentations du timing et du contrôle moteur selon plusieurs études [5,6,9], l'absence de différence de performances entre le groupe MA et le groupe contrôle dans ces deux tâches suggèrent une préservation du réseau cérébral associé à la synchronisation ou au couplage audio-moteur dans le groupe MA par comparaison au groupe contrôle comme retrouvé dans certaines études [1,2].

Ce résultat diverge de précédentes études montrant l'influence de la MA sur la variabilité de la SMS aux beats du métronome dans une tâche de continuation [8,11]. Néanmoins, ces études montrent également que la complexité des tâches utilisées (continuation de phase, allongement des intervalles et tâche bimanuelle) implique des aptitudes fragilisées de l'attention et de la mémoire de travail dans ce contexte pathologique ce qui augmente l'impact de la MA sur les performances des participants. Or, les tâches de notre étude ne sont pas aussi complexes et peuvent entraîner un effort cognitif moins important expliquant ainsi la divergence de résultats entre les études. Nos résultats n'ont en effet révélé aucun lien entre les performances aux tests évaluant l'attention, la mémoire de travail et les fonctions exécutives avec les performances de synchronisation. De même, nous n'avons pas trouvé d'influence du déclin cognitif sur la performance de synchronisation. Cependant, nos données ont montré que l'âge augmente les asynchronies positives ou le retard de la tape comme l'ont rapporté d'autres études [11,48,49]. Cette influence de l'âge sur les asynchronies pourrait être provoquée par un ralentissement moteur [10]. Ce ralentissement lié aux effets de l'âge pourrait d'ailleurs être lié à la diminution de la connexion fonctionnelle cérébrale entre les systèmes auditif et moteur [22,23]. Par conséquent, à défaut de trouver une différence entre les groupes MA et contrôle, la synchronisation aux beats avec un intervalle de 800 ms serait sensible aux effets de l'âge.

Une autre explication à l'absence de différence de performances entre les groupes pourrait également se rapporter à la difficulté de poser un diagnostic parmi les participants en fonction des moyens disponibles. En absence de l'utilisation de bio-marqueurs auprès des patients venant pour une évaluation gériatrique, il reste difficile de confirmer le diagnostic de la MA posé à la suite d'examens cliniques. Ainsi, il se peut que certains participants dans notre étude aient présenté des faux positifs ou négatifs expliquant ainsi l'absence de différence entre les groupes. Néanmoins, cette explication semble peu vraisemblable étant donné qu'un gériatre et son équipe ont réalisé une évaluation multidisciplinaire pour chaque patient afin de poser un diagnostic.

Quantité de mouvements dans maladie d'Alzheimer et dans le vieillissement normal

Bien que les groupes ne diffèrent pas sur la performance de synchronisation, la quantité de mouvements (QOM) était plus élevée en réponse à la musique qu'au métronome chez les participants contrôles et le chanteur mais pas chez les personnes atteintes de la MA. La QOM inclut l'ensemble des comportements moteurs produits pendant l'activité. Ainsi, de tels résultats démontrent que la musique augmente l'activité motrice par comparaison au métronome dans le vieillissement physiologique mettant ainsi en évidence les propriétés motivationnelles spécifiques de la musique [29,30]. Par contre, l'absence de différence de QOM entre les conditions métronome et musique dans le groupe MA met en évidence une absence d'effet de la musique sur les mouvements corporels spontanés produits dans ce contexte particulier chez des participants atteints de la MA. Ces résultats sont cohérents avec ceux de notre précédente étude (**étude 1, chapitre 4**) réalisée chez des personnes présentant une MA probablement à un stade plus avancé. En effet, aucune différence de QOM n'avait été trouvée dans cette étude entre les conditions métronomiques et musicales au cours d'une tâche de synchronisation. Ainsi, il semblerait que la MA réduise certaines réponses motrices à la musique par comparaison au vieillissement physiologique.

L'effet de la MA sur la QOM en réponse à la musique diverge de l'absence d'impact de la maladie sur les performances de SMS et de SMT. Cette divergence s'explique par une absence de lien entre les performances de synchronisation et la QOM en réponse à la musique. Les résultats sur les conditions métronomiques montrent d'ailleurs que la QOM élevée est liée à une faible constance de SMS et à un retard de la tape mettant en évidence qu'une activité

motrice élevée en réponse au métronome est liée à de faibles performances de synchronisation aux beats du métronome. Ainsi, la synchronisation du tapping et la production spontanée de mouvements en réponse aux séquences auditives peuvent être dissociées.

D'autres facteurs sont susceptibles toutefois d'augmenter la QOM en réponse à la musique comme l'expertise musicale. En effet, la pratique de la musique entraîne plus de facilité et plus d'engagement pour bouger au rythme de la musique par comparaison aux non-musiciens [50]. Nous avons trouvé également que la présence d'hommes parmi les participants augmente la QOM en réponse à la musique. Cependant, la présence majoritaire de femmes dans l'étude demande de comparer les réponses des femmes et des hommes à taille égale d'échantillon afin de vérifier cet effet sur la QOM. Enfin, la QOM en réponse au métronome mais pas à la musique peut être modulée par le tempo moteur spontané des participants. Un tel résultat confirme que les performances à des tâches de tapping ne sont pas liées à la QOM en réponse à la musique.

Influence de la Présence du chanteur et des séquences auditives sur la synchronisation

Comme attendu, la présence physique du chanteur diminue la constance et réduit l'asynchronie négative par comparaison à la présence pré-enregistrée de celui-ci, en accord avec les résultats précédemment obtenus (**étude 1, chapitre 4**). Cependant, cet effet du contexte social s'observe uniquement dans la condition métronomique tant chez des personnes atteintes de la MA que chez des contrôles.

L'observation de la condition pré-enregistrée pour le métronome montre une constance élevée mais une anticipation ou une asynchronie moyenne négative importante de la tape du participant par rapport au beat et à la tape du chanteur. Cette asynchronie pourrait être le signe d'un impact du déclin cognitif combiné à celui de l'âge sur la SMS. Cette asynchronie négative importante a d'ailleurs été trouvée chez des personnes atteintes de MA et de maladies apparentées (**étude 1, chapitre 4**) et chez des personnes atteintes de la maladie de Parkinson [51,52]. Malgré un impact différent du métronome sur la constance et sur l'asynchronie dans la condition pré-enregistrée, un effet de la présence physique du chanteur a été trouvé sur ces deux mesures. Cependant, cet effet du contexte social semble moduler différemment les deux mesures de synchronisation puisque la présence physique du chanteur diminue la constance alors qu'elle réduit l'asynchronie négative par rapport à la condition pré-enregistrée.

La comparaison des conditions pré-enregistrées entre les séquences auditives montre que la constance et l'asynchronie négative dans la condition métronome sont plus importantes que dans la condition musicale. Ceci est cohérent avec les résultats obtenus dans différentes études chez des jeunes adultes [9,25,26] montrant que les subdivisions de la métrique de la musique peuvent réduire l'anticipation et l'asynchronie négative (**étude 1, chapitre 4 analyse complémentaire** et [25]).

En particulier, la présence physique du chanteur lors de la synchronisation aux beats du métronome semble distraire le participant de son tapping réduisant de ce fait la constance par comparaison à la présence pré-enregistrée du chanteur. Une étude a d'ailleurs mis en évidence que l'adaptation du tapping à l'autre peut réduire la constance de la synchronisation par comparaison à un maintien de son propre tapping [53] montrant que l'attention portée au chanteur pourrait réduire la constance. Ainsi, la présence physique du chanteur semble induire une attention divisée entre la tâche de tapping en synchronisation au rythme de la séquence auditive et l'interaction avec le chanteur. Cette compétition entre la synchronisation au rythme auditif et la synchronisation interpersonnelle avec le chanteur en présence physique pourrait réduire la constance de la synchronisation aux beats du métronome comme le suggère une étude évaluant l'influence de ces facteurs sur la synchronisation spontanée [54]. Cependant, la précision de la synchronisation pourrait être améliorée par la présence physique du chanteur. Dans cette condition, le participant pourrait s'adapter au chanteur qui présente un tapping stable et précis, et cette synchronisation interpersonnelle facilitée par la présence physique du chanteur (ici leader) augmenterait la précision de la synchronisation. Des bénéfices comparables de la synchronisation interpersonnelle ont en effet été rapportés dans une étude montrant que la synchronisation interpersonnelle est plus précise en présence physique que pré-enregistrée du partenaire [55]. Par conséquent, l'action conjointe avec le chanteur en présence physique attire plus l'attention du participant que l'enregistrement audio-visuel. Cette interaction sociale permettrait d'augmenter la précision de la synchronisation [53] tout en diminuant les ressources cognitives nécessaires à la prédiction de l'occurrence du beat [21,56].

Cet effet du contexte social pour le métronome n'est toutefois pas retrouvé pour la musique. Cette divergence de résultats peut notamment s'expliquer par l'attention induite par la musique et les consignes de la tâche. En effet, il était demandé aux participants de taper au rythme de la séquence auditive. Ainsi, les participants se sont concentrés davantage sur la synchronisation du tapping que sur le chanteur. Cependant, comme la musique est plus stimulante et plaisante que le métronome [29,30], il serait plus facile pour les participants de maintenir leur attention

sur le rythme de la musique que les beats du métronome même en présence physique du chanteur. Ainsi, la présence physique du chanteur aurait moins d'impact sur l'attention des participants dans les conditions musicales que métronomiques. Cela expliquerait pourquoi la constance de la SMS et l'anticipation du beat en réponse à la musique sont moins influencées par la présence physique du chanteur qu'avec le métronome. L'absence d'effet du contexte social sur la SMS au rythme de la musique peut s'expliquer également par le fait que l'attention portée au chanteur ne change pas, que le chanteur soit physiquement présent ou pas. En observant la synchronisation des participants, nous remarquons dans notre étude un retard de la tape du participant par rapport à celle du chanteur. De plus, l'asynchronie positive est très similaire dans les deux conditions. Ce retard de la tape pourrait suggérer que le participant suit les tapes du chanteur et se concentrerait davantage sur les tapes du chanteur que sur l'anticipation des beats forts de la musique tant en présence physique que pré-enregistrée du chanteur. L'absence de différence d'asynchronie entre les deux conditions pourrait dès lors suggérer une synchronisation interpersonnelle similaire dans les deux situations. Comme de nombreuses études démontrent que les sentiments d'affiliation augmentent entre les partenaires quand le degré de synchronisation des mouvements entre ces individus est élevé [57–61], l'absence de différence d'asynchronie entre les deux conditions pourrait montrer que la présence physique et pré-enregistrée du chanteur conduit au même effet sur la qualité de la relation sociale des participants lors de l'écoute de musique.

L'absence d'effet du contexte social sur la SMS au rythme de la musique diverge néanmoins des résultats présentés précédemment (**étude 1, chapitre 4**). Dans cette étude antérieure, la condition musicale en présence pré-enregistrée du chanteur présente une asynchronie importante par rapport à la tape de la chanteuse démontrant que l'enregistrement audio-visuel attirait peu l'attention des participants par comparaison à la présence physique du chanteur. La sévérité du déclin cognitif pourrait toutefois expliquer cette divergence de résultats par rapport à notre étude. En effet, il a été démontré que les capacités attentionnelles et du contrôle exécutif diminuent avec le déclin cognitif dans la MA [12–17] et cela pourrait avoir un impact sur la performance de SMS [11]. Par exemple, un retard modéré de la tape est observé dans cette présente étude alors qu'une asynchronie négative importante a été trouvée dans la condition pré-enregistrée pour la musique dans l'étude précédente. Or, les participants de l'étude antérieure présentent un déclin cognitif plus important que ceux de cette présente étude entraînant ainsi plus de difficultés pour maintenir leur attention sur la tâche de synchronisation sans présence physique d'un chanteur. Ainsi, la présence physique du chanteur aurait plus

d'impact sur la SMS au rythme de la musique chez les participants de l'étude précédente à cause probablement du déclin cognitif. Une divergence de résultats est également remarquée par rapport à cette étude antérieure au niveau de l'effet du contexte social sur la SMS aux beats du métronome. Toutefois, l'effet du contexte social est moins important dans l'étude précédente car il est modulé par des tempi différents.

Influence de la Présence du chanteur et des séquences auditives sur la quantité de mouvements

La QOM des participants des deux groupes n'a pas été influencée par la présence physique du chanteur, en accord avec les résultats montrés dans notre précédente étude (**étude 1, chapitre 4**). Cette absence d'effet du contexte social a également été retrouvée sur la production spontanée de différents mouvements rythmiques chez des personnes atteintes de la MA (**étude 1, chapitre 5**). Comme rapporté dans cette étude, la tâche de synchronisation du tapping elle-même pourrait avoir réduit l'interaction sociale entre le participant et le chanteur. En effet, les consignes étant de taper au rythme de séquences auditives, l'attention des participants pourrait avoir été concentrée sur leur tâche de synchronisation du tapping (en regardant la tablette sur laquelle ils tapaient par exemple). De ce fait, l'effort cognitif demandée par la tâche pourrait avoir limité la production spontanée de comportements non verbaux comme suggéré par Leman [62]. L'examen de la durée de regard du participant vers le chanteur permettrait de vérifier l'impact de la tâche sur l'attention des participants ainsi que d'observer si la présence physique du chanteur attire plus l'attention que l'enregistrement audio-visuel de celui-ci au cours de la tâche de synchronisation.

En conclusion, les résultats de cette étude mettent en évidence une préservation des capacités de synchronisation dans le groupe MA par comparaison à un groupe contrôle, l'ensemble des participants étant capables de se synchroniser au rythme de la musique. Or, plusieurs études suggèrent que l'activité de synchronisation au rythme de la musique, particulièrement en action conjointe, est susceptible d'augmenter l'engagement rythmique et social des personnes atteintes de la MA [3,4]. Cependant, nos résultats mettent en évidence que certaines réponses à la musique comme l'activité motrice (QOM) pourraient être réduites par la maladie d'Alzheimer par comparaison au vieillissement physiologique. Enfin, l'influence de la présence du chanteur sur la synchronisation des participants à la musique dans nos études a été examinée par une

comparaison entre la présence physique du chanteur et un enregistrement audio-visuel. Dans la présence physique du chanteur, une réactivité mutuelle aux comportements de l'autre est possible chez le participant et le chanteur alors que la condition pré-enregistrée ne se rapporte qu'à une influence de l'enregistrement sur les comportements du participant. L'influence bidirectionnelle des comportements entre le participant et le chanteur dans la condition de présence physique de celui-ci peut non seulement avoir un impact sur la synchronisation interpersonnelle [63,55] mais peut aussi renforcer les liens sociaux entre les partenaires comme le démontrent de nombreuses études [57,58,60,61]. L'influence de la présence physique du chanteur sur la SMS des participants met en évidence que la synchronisation interpersonnelle module la SMS au rythme de séquences auditives mais seulement en réponse au métronome. Bien que la présence physique du chanteur perturbe la synchronisation en divisant l'attention entre la réalisation de la tâche de synchronisation et l'interaction avec le chanteur, elle augmente la précision de la synchronisation. La présence physique du chanteur pourrait augmenter l'engagement rythmique, social et émotionnel des participants au cours de la tâche de synchronisation au rythme de la musique. Pour ce faire, les données de synchronisation devraient être mises en relation avec la production spontanée de comportements non verbaux.

Remerciements : Cette recherche a été réalisée grâce au soutien du Conseil Régional des Hauts-de-France et l'Université de Lille à M.G., du Ministère des Affaires Etrangères (partenariat Hubert Curien) à S.S. et à M.L. ainsi que l'Institut Universitaire de France à S.S. Les auteurs souhaitent remercier également Ivan Schepers de l'Université de Gand pour le développement du matériel. Nous sommes spécialement reconnaissants à notre chanteur Sotirios Sideris, aux gériatres (Dr D. Huvent et Dr J. Roche), aux psychologues (C. Jougleux, S. Schoenenburg et A. Clerckx), au personnel de l'hôpital de jour des Bateliers à Lille, et aux participants qui ont accepté de prendre part à cette étude.

Liens d'intérêts : Les auteurs déclarent ne pas avoir de lien en rapport avec cet article.

Références

- 1 Jacobsen, J.-H. *et al.* (2015) Why musical memory can be preserved in advanced Alzheimer's disease. *Brain* 138, 2438–2450
- 2 King, J.B. *et al.* (2019) Increased Functional Connectivity After Listening to Favored Music in Adults with Alzheimer Dementia. *J Prev Alzheimers Dis* 6, 56–62
- 3 Cason, N. *et al.* (2017) Synchronization to Music as a Tool for Enhancing Non-Verbal Communication in People with Neurological Diseases. In M. Lesaffre, P.-J. Maes & M.

- Leman (Eds.), *The Routledge Companion to embodied music interaction* (pp. 304–312). New York: Routledge
- 4 Baird, A. and Thompson, W.F. (2018) The Impact of Music on the Self in Dementia. *Journal of Alzheimer's Disease* 61, 827–841
 - 5 McAuley, J.D. (2010) Tempo and Rhythm. In M.R. Jones, R.R. Fay & A.N. Popper (Eds.), *Springer Handbook of auditory research: Vol. 36. Music Perception* (pp. 165–199). New York: Springer Science
 - 6 Vanneste, S. *et al.* (2001) Temporal control of rhythmic performance: a comparison between young and old adults. *Exp Aging Res* 27, 83–102
 - 7 Rabinowitz, I. and Lavner, Y. (2014) Association between Finger Tapping, Attention, Memory, and Cognitive Diagnosis in Elderly Patients. *Percept Mot Skills* 119, 259–278
 - 8 Martin, E. *et al.* (2017) Alteration of rhythmic unimanual tapping and anti-phase bimanual coordination in Alzheimer's disease: A sign of inter-hemispheric disconnection? *Human Movement Science* 55, 43–53
 - 9 Sowiński, J. and Dalla Bella, S. (2013) Poor synchronization to the beat may result from deficient auditory-motor mapping. *Neuropsychologia* 51, 1952–1963
 - 10 McAuley, J.D. *et al.* (2006) The Time of Our Lives: Life Span Development of Timing and Event Tracking. *Journal of Experimental Psychology: General* 135, 348–367
 - 11 Bangert, A.S. and Balota, D.A. (2012) Keep Up the Pace: Declines in Simple Repetitive Timing Differentiate Healthy Aging from the Earliest Stages of Alzheimer's Disease. *Journal of the International Neuropsychological Society* 18, 1052–1063
 - 12 Baddeley, A.D. *et al.* (1991) The Decline of Working Memory in Alzheimer's Disease: a Longitudinal Study. *Brain*, 114(6), 2521–2542
 - 13 Perry, R.J. and Hodges, J.R. (1999) Attention and executive deficits in Alzheimer's disease: A critical review. *Brain* 122, 383–404
 - 14 Sheridan, P.L. *et al.* (2003) Influence of Executive Function on Locomotor Function: Divided Attention Increases Gait Variability in Alzheimer's Disease. *Journal of the American Geriatrics Society* 51, 1633–1637
 - 15 Baudic, S. *et al.* (2006) Executive function deficits in early Alzheimer's disease and their relations with episodic memory. *Arch Clin Neuropsychol* 21, 15–21
 - 16 Belleville, S. *et al.* (2007) Working memory and control of attention in persons with Alzheimer's disease and mild cognitive impairment. *Neuropsychology* 21, 458–469
 - 17 Marshall, G.A. *et al.* (2011) Executive function and instrumental activities of daily living in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia* 7, 300–308
 - 18 Bailey, J.A. and Penhune, V.B. (2010) Rhythm synchronization performance and auditory working memory in early- and late-trained musicians. *Exp Brain Res* 204, 91–101
 - 19 Bailey, J. and Penhune, V.B. (2012) A sensitive period for musical training: contributions of age of onset and cognitive abilities. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1252, 163–170
 - 20 Pecenka, N. *et al.* (2013) Neural correlates of auditory temporal predictions during sensorimotor synchronization. *Front. Hum. Neurosci.* 7, 380
 - 21 Colley, I.D. *et al.* (2018) Working Memory and Auditory Imagery Predict Sensorimotor Synchronization with Expressively Timed Music. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 71, 1781–1796
 - 22 Seidler, R.D. *et al.* (2010) Motor control and aging: Links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 34, 721–733
 - 23 Kuo, B.-C. *et al.* (2011) Functional connectivity during top-down modulation of visual short-term memory representations. *Neuropsychologia* 49, 1589–1596

- 24 Albers, M.W. *et al.* (2015) At the interface of sensory and motor dysfunctions and Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia* 11, 70–98
- 25 Aschersleben, G. (2002) Temporal Control of Movements in Sensorimotor Synchronization. *Brain and Cognition* 48, 66–79
- 26 Dalla Bella, S. *et al.* (2017) BAASTA: Battery for the Assessment of Auditory Sensorimotor and Timing Abilities. *Behav Res* 49, 1128–1145
- 27 Jones, M.R. and Boltz, M. (1989) Dynamic Attending and Responses to Time. *Psychological Review* 96, 459–491
- 28 Fraisse, P. (1963) *The psychology of time*, Oxford, England: Harper & Row.
- 29 Styns, F. *et al.* (2007) Walking on music. *Human Movement Science* 26, 769–785
- 30 Leman, M. *et al.* (2013) Activating and Relaxing Music Entrain the Speed of Beat Synchronized Walking. *PLOS ONE* 8, e67932
- 31 Lesaffre, M. *et al.* (2017) Monitoring music and movement interaction in people with dementia. In M. Lesaffre, P.-J. Maes & M. Leman (Eds.), *The Routledge Companion to embodied music interaction* (pp. 294–303). New York: Routledge
- 32 Association, A.P. (2013) *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5®)*, American Psychiatric Pub
- 33 Folstein, M.F. *et al.* (1975) Mini-mental state: A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research* 12, 189–198
- 34 Ehrlé, N. (1998) Traitement temporel de l'information auditive et temporel, thesis, Reims
- 35 Spielberger, C.D. (1983) Manual for the State-Trait Anxiety Inventory STAI (Form Y) ("Self-Evaluation Questionnaire")
- 36 Galasko, D. *et al.* (1997) An inventory to assess activities of daily living for clinical trials in Alzheimer's disease. *Alzheimer Disease and Associated Disorders* 11, S33–S39
- 37 Sisco, F. *et al.* (2000) Les troubles du comportement chez le sujet dément en institution: évaluation à partir de l'inventaire neuropsychiatrique pour les équipes soignantes (NPI/ES). *L'Année gériatrique* 14, 151–171
- 38 Bédard, M. *et al.* (2001) The Zarit Burden Interview: A New Short Version and Screening Version. *Gerontologist* 41, 652–657
- 39 Fisher, N.I. (1995) *Statistical Analysis of Circular Data*, Cambridge University Press
- 40 Berens, P. (2009) CircStat: A Matlab Toolbox for Circular Statistics. *Journal of statistical software* 31, 1–21
- 41 Kirschner, S. and Tomasello, M. (2009) Joint drumming: Social context facilitates synchronization in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology* 102, 299–314
- 42 Falk, S. *et al.* (2015) Non-verbal sensorimotor timing deficits in children and adolescents who stutter. *Front. Psychol.* 6, 847
- 43 Wilkie, D. (1983) Rayleigh Test for Randomness of Circular Data. *Applied Statistics* 32, 311–312
- 44 Desmet, F. *et al.* (2017) Multimodal analysis of synchronization data from patients with dementia in *Proceedings of the ESCOM 2017 conference*
- 45 Verghese, J. *et al.* (2007) Quantitative gait dysfunction and risk of cognitive decline and dementia. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 78, 929–935
- 46 Buracchio, T. *et al.* (2010) The Trajectory of Gait Speed Preceding Mild Cognitive Impairment. *Arch Neurol* 67, 980–986
- 47 Belghali, M. *et al.* (2017) Loss of gait control assessed by cognitive-motor dual-tasks: pros and cons in detecting people at risk of developing Alzheimer's and Parkinson's diseases. *GeroScience* 39, 305–329
- 48 Sasaki, H. *et al.* (2011) Effects of Aging on Control of Timing and Force of Finger Tapping. *Motor Control* 15, 175–186

- 49 Thompson, E.C. *et al.* (2015) Beat Synchronization across the Lifespan: Intersection of Development and Musical Experience. *PLOS ONE* 10, e0128839
- 50 Karpati, F.J. *et al.* (2016) Sensorimotor integration is enhanced in dancers and musicians. *Exp Brain Res* 234, 893–903
- 51 Jones, C.R.G. *et al.* (2011) Modeling Accuracy and Variability of Motor Timing in Treated and Untreated Parkinson’s Disease and Healthy Controls. *Front. Integr. Neurosci.* 5, 81
- 52 Bienkiewicz, M.M.N. and Craig, C.M. (2015) Parkinson’s Is Time on Your Side? Evidence for Difficulties with Sensorimotor Synchronization. *Front. Neurol.* 6, 249
- 53 Fairhurst, M.T. *et al.* (2014) Leading the follower: An fMRI investigation of dynamic cooperativity and leader–follower strategies in synchronization with an adaptive virtual partner. *NeuroImage* 84, 688–697
- 54 Demos, A.P. *et al.* (2012) Rocking to the beat: Effects of music and partner’s movements on spontaneous interpersonal coordination. *Journal of Experimental Psychology: General* 141, 49–53
- 55 Demos, A.P. *et al.* (2017) The Unresponsive Partner: Roles of Social Status, Auditory Feedback, and Animacy in Coordination of Joint Music Performance. *Front. Psychol.* 8, 149
- 56 Pecenka, N. and Keller, P.E. (2009) Auditory Pitch Imagery and Its Relationship to Musical Synchronization. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1169, 282–286
- 57 Hove, M.J. and Risen, J.L. (2009) It’s All in the Timing: Interpersonal Synchrony Increases Affiliation. *Social Cognition* 27, 949–960
- 58 Kirschner, S. and Tomasello, M. (2010) Joint music making promotes prosocial behavior in 4-year-old children. *Evolution and Human Behavior* 31, 354–364
- 59 Vicaria, I.M. and Dickens, L. (2016) Meta-Analyses of the Intra- and Interpersonal Outcomes of Interpersonal Coordination. *J Nonverbal Behav* 40, 335–361
- 60 Stupacher, J. *et al.* (2017) Music strengthens prosocial effects of interpersonal synchronization – If you move in time with the beat. *Journal of Experimental Social Psychology* 72, 39–44
- 61 Stupacher, J. *et al.* (2017) Synchrony and sympathy: Social entrainment with music compared to a metronome. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain* 27, 158–166
- 62 Leman, M. (2007) *Embodied Music Cognition and Mediation Technology*, MIT Press.
- 63 Konvalinka, I. *et al.* (2010) Follow you, Follow me: Continuous Mutual Prediction and Adaptation in Joint Tapping. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 63, 2220–2230
- 64 Jurica, P.J. *et al.* (2001) *Dementia rating Scale-2: DRS-2: professional manual*, Psychological Assessment Resources
- 65 Grégoire, J. (2004) Factor Structure of the French Version of the Wechsler Adult Intelligence Scale–III. *Educational and Psychological Measurement* 64, 463–474
- 66 Grober, E. and Buschke, H. (1987) Genuine memory deficits in dementia. *Developmental Neuropsychology* 3, 13–36
- 67 Reitan, R.M. (1958) Validity of the Trail Making Test as an Indicator of Organic Brain Damage. *Percept Mot Skills* 8, 271–276
- 68 Bayard, S. *et al.* (2009) Test du Stroop Victoria- Adaptation francophone. CPCN-LR, Gignac
- 69 Troyer, A.K. *et al.* (2006) Aging and Response Inhibition: Normative Data for the Victoria Stroop Test. *Aging, Neuropsychology, and Cognition* 13, 20–35
- 70 Mahieux-Laurent, F. *et al.* (2009) Validation d’une batterie brève d’évaluation des praxies gestuelles pour consultation Mémoire. Évaluation chez 419 témoins, 127 patients atteints de troubles cognitifs légers et 320 patients atteints d’une démence. *Revue Neurologique*, 165, 560-567

Annexe 1 : Scores aux tests cognitifs et questionnaires administrés aux participants par groupe

Fonction évaluée	Test utilisé	MA (N = 48)	Contrôles (N = 49)	p
Humeur	STAI (/40)	29.4 ± 10.8	33.2 ± 12.3	.08
	Spielberger, 1983	(N = 48)	(N = 49)	
Troubles comportementaux	NPI (/144)	9.8 ± 9.6	9.0 ± 11.3	.58
	Sisco et al., 2000	(N = 28)	(N = 11)	
Détresse des aidants	Mini-Zarit (/7)	2.5 ± 1.6	1.4 ± 1.4	.13
	Bédard et al., 2001	(N = 27)	(N = 7)	
Efficience cognitive globale	MDRS Total (/144)	117.7 ± 6.6	137.8 ± 4.8	< .001
	Jurica, Leitten, & Mattis, 2001	(N = 38)	(N = 17)	
Mémoire de travail	Empan à l'endroit WAIS-III	5.6 ± 1.2	5.2 ± 1.2	.19
	Grégoire, 2004	(N = 38)	(N = 17)	
	Empan à l'envers WAIS-III	3.2 ± .7	3.8 ± .7	.01
	Grégoire, 2004	(N = 38)	(N = 17)	
Mémoire épisodique verbale	RL-RI 16 rappel libre différé (/16)	2.0 ± 2.3	8.2 ± 3.4	< .001
	Grober & Buschke, 1987	(N = 28)	(N = 17)	
	RL-RI 16 rappel libre total (/16)	9.2 ± 4.1	15.6 ± .9	
Grober & Buschke, 1987	(N = 29)	(N = 17)		
	MDRS Mémoire (/25)	15.1 ± 3.6	23.5 ± 1.9	< .001
	Jurica, Leitten, & Mattis, 2001	(N = 38)	(N = 17)	
	TMT (Partie A) Temps (s)	100.4 ± 43.9	66.3 ± 22.6	
Reitan, 1958	(N = 32)	(N = 17)		
Attention et vitesse de traitement	MDRS Attention (/37)	34.5 ± 1.9	36.1 ± 1.0	.001
	Jurica, Leitten, & Mattis, 2001	(N = 38)	(N = 17)	
	Stroop (Dénomination) Temps (s)	22.5 ± 13.4	16.1 ± 4.1	.001
	Bayard et al., 2009	(N = 34)	(N = 16)	
	Stroop (Lecture) Temps (s)	34.5 ± 11.1	24.4 ± 8.3	< .001
	Bayard et al., 2009	(N = 33)	(N = 16)	
	TMT (Partie B) Temps (s)	268.1 ± 85.4	204.5 ± 88.9	
Reitan, 1958	(N = 34)	(N = 17)		
Fonctions exécutives (flexibilité et inhibition)	TMT ratio (B – A)	169.0 ± 78.7	138.2 ± 76.8	.19
	Reitan, 1958	(N = 34)	(N = 17)	
	Stroop (Interférence) Temps (s)	55.5 ± 22.4	41.7 ± 17.8	.008
	Bayard et al., 2009	(N = 33)	(N = 16)	

	Stroop (Interférence – Dénomination) Troyer, Leach, & Strauss, 2006	35.2 ± 23.0 (N = 33)	25.6 ± 15.8 (N = 16)	.14
Langage	Fluences catégorielles (/28) Jurica, Leitten, & Mattis, 2001	18.3 ± 3.9 (N = 37)	25.1 ± 3.4 (N = 16)	< .001
	MDRS Conceptualisation (/39) Jurica, Leitten, & Mattis, 2001	35.9 ± 2.3 (N = 38)	38.3 ± 1.5 (N = 17)	< .001
Capacités visuo- spatiales	MDRS Construction (/6) Jurica, Leitten, & Mattis, 2001	5.8 ± .5 (N = 38)	6.0 ± 0 (N = 17)	.09
	Praxies gestuelles (/5) Mahieux-Laurent, Fabre, Galbrun, Dubrulle, & Moroni, 2009	3.4 ± 1.4 (N = 38)	4.4 ± .8 (N = 17)	.01
Orientation	Orientation temporelle (/5) Folstein, Folstein, & McHugh, 1975	3.2 ± 1.4 (N = 38)	4.8 ± .4 (N = 17)	< .001
	Orientation spatiale (/5) Folstein, Folstein, & McHugh, 1975	4.4 ± .8 (N = 38)	5.0 ± 0 (N = 17)	.002

Chapitre 7 : Relation sociale et réponses à la musique dans la maladie d'Alzheimer et dans le vieillissement physiologique

Matthieu Ghilain¹, Lise Hobeika¹, PhD, Loris Schiaratura¹, PhD., Micheline Lesaffre², PhD., Dominique Huvent⁴, MD, François Puisieux⁴, MD, and Séverine Samson^{*1,5}, PhD.

¹ PSITEC EA 4072, Université de Lille, Villeneuve d'Ascq, Lille, France

² IPEM, Department of Arts, Music and Theater Sciences, Ghent University, Belgium

³ University of Western Ontario, Canada

⁴ Hôpital des Bateliers, Lille, France

⁵ AP-HP, GH Pitié-Salpêtrière- Charles Foix, Paris, France

Résumé. L'activité de synchronisation au rythme de la musique, particulièrement en action conjointe, pourrait induire du plaisir et renforcer les liens sociaux chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. Cependant, la maladie pourrait réduire l'engagement rythmique, social et émotionnel au cours de cette activité conjointe de synchronisation par comparaison au vieillissement physiologique 'normal'. Ainsi, nous avons comparé dans cette étude la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle (engagement social et émotionnel) et la production spontanée de mouvements rythmiques liés à la musique (engagement rythmique) chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer et chez des témoins. Ces comportements ont été observés au cours d'une tâche de synchronisation au rythme de la musique, réalisée en action conjointe avec un chanteur en présence physique et à travers un enregistrement audio-visuel. Sur base du décodage des comportements effectué par des observateurs en aveugle, la fréquence des expressions faciales émotionnelles positives (EFE+) et l'intensité de l'engagement à la musique étaient moins élevées chez les participants atteints de la maladie d'Alzheimer que chez les témoins. Néanmoins, la fréquence des EFE+ et la durée de production chantée des deux groupes de participants étaient plus élevées en présence physique du chanteur qu'avec l'enregistrement. Enfin, la durée de regard vers le chanteur était moins élevée en présence physique du chanteur qu'avec un enregistrement pour l'ensemble des participants. Bien que la maladie d'Alzheimer réduit la production de certains comportements, le contexte social module de manière semblable l'engagement rythmique, social et émotionnel par comparaison à un enregistrement audio-

visuel dans le vieillissement physiologique et pathologique. Cette étude met en évidence une méthode permettant d'évaluer les bénéfices thérapeutiques des interventions musicales sur les comportements non verbaux. De plus, les données présentées ouvrent des perspectives cliniques permettant d'améliorer l'efficacité des interventions musicales auprès de personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer.

Mots clés : Musique, Maladie d'Alzheimer, Synchronisation, Comportements non verbaux, Relation sociale et émotionnelle, Rythme, Engagement

Introduction

Bouger au rythme de la musique est une activité régulièrement utilisée dans les interventions musicales réalisées auprès de personnes atteintes de maladies neurodégénératives (Raglio et al., 2008; Raglio et al., 2010; Sung, Lee, Li, & Watson, 2012; Sakamoto, Ando, & Tsutou, 2013; Särkämö et al., 2014; Hsu, Flowerdew, Parker, Fachner, & Odell-Miller, 2015). Le plaisir de se synchroniser au rythme de la musique en présence d'autres personnes pourrait d'ailleurs renforcer les liens sociaux des personnes atteintes de la MA et de leur entourage comme le suggèrent plusieurs revues (Cason, Schiaratura, & Samson, 2017; Baird & Thompson, 2018). Dans notre étude précédente (**étude 1 chapitre 5**), nous avons décodé la production spontanée de mouvements rythmiques (ex. bouger la tête au rythme de la musique) et la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle (ex. fréquence de sourires ou expressions faciales émotionnelles positives, EFE+). Ces comportements ont été observés en réponse à la musique et au métronome lors d'une action conjointe de synchronisation chez des personnes atteintes de la MA ou de maladies apparentées. Les résultats ont mis en évidence que la musique augmente la production spontanée de mouvements rythmiques par comparaison au métronome. Cependant, cet effet est limité à certains types de mouvements produits (mouvements des lèvres et des membres inférieurs). Cette même étude révèle également que l'action conjointe avec une chanteuse (en présence physique vs à travers un enregistrement) influence la production de comportements non verbaux liés à la qualité de la relation sociale et émotionnelle des participants mais pas les mouvements rythmiques spontanés produits en réponse à la musique. L'absence de groupe contrôle dans cette précédente étude ne permet pas d'identifier si la maladie d'Alzheimer a un impact sur la production de ces comportements en réponse à l'activité de synchronisation au rythme de la musique.

Cette présente étude vise donc à examiner la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle (engagement social et émotionnel) ainsi que la production spontanée de mouvements rythmiques (engagement rythmique) en réponse à la musique des personnes atteintes de la MA en comparaison à des participants contrôles. Comme objectif principal, la comparaison de ces comportements entre un groupe MA et un groupe contrôle permet de vérifier l'impact de la MA sur l'engagement rythmique, social et émotionnel à la musique au cours de l'activité de synchronisation en action conjointe. De plus, l'influence du contexte social a été observée sur la production des comportements dans les deux groupes afin de vérifier si l'action conjointe d'un chanteur en présence physique et pré-enregistrée modulait l'engagement social et émotionnel ainsi que l'engagement rythmique par comparaison au groupe contrôle.

Comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle dans la maladie d'Alzheimer lors d'interventions musicales

La sévérité du déclin cognitif peut réduire la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle lors d'interventions musicales. Dans notre étude précédente, nous avons trouvé un lien entre le déclin cognitif dans la MA et la diminution de la fréquence des EFE+ au cours de la tâche de synchronisation au rythme de la musique (**étude 1 chapitre 5**). De plus, Garrido et ses collaborateurs ont mis en évidence une réduction de la production de réponses liées au plaisir et à l'affectif positif avec le déclin cognitif dans la MA pendant l'écoute de musique (Garrido, Stevens, Chang, Dunne, & Perz, 2018). Bien que ces données suggèrent que le déclin cognitif réduit la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle lors d'activités musicales, aucune étude n'a comparé la production de ces comportements entre un groupe MA et un groupe contrôle dans ce contexte. Dans des interactions sociales non accompagnées de musique, plusieurs études rapportent que la production de comportements non verbaux comme les gestes au cours d'entretiens est plus élevée chez des contrôles que chez des personnes atteintes de la MA bien que ces comportements restent présents dans la communication dans la plupart des cas (Rousseaux, Sève, Vallet, Pasquier, & Mackowiak-Cordoliani, 2010; Di Pastena, 2014; Caussade, Henrich Bernardoni, Colletta, & Vallée, 2015; Schiaratura, Pastena, Askevis-Leherpeux, & Clément, 2015; Schiaratura, 2008 pour une revue). Par conséquent, l'atteinte de la MA sur la qualité de la relation sociale et émotionnelle durant une activité musicale pourrait s'étendre à la production de ces comportements dans les situations d'interaction sociale de la vie quotidienne. Ainsi, nous

prédisons que la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale est plus élevée dans le groupe contrôle que dans le groupe MA tant dans une activité musicale que dans des entretiens.

Mouvements rythmiques spontanés en réponse à la musique dans la maladie d'Alzheimer

Dans une autre étude (**étude 2 chapitre 6**), nous avons démontré que la quantité moyenne de mouvements spontanés (*Quantity of motion*, QOM) produits par le groupe contrôle est plus élevée que chez les personnes atteintes de la MA au cours d'une tâche de synchronisation au rythme de la musique réalisée en action conjointe avec un chanteur. Un tel résultat suggère un impact de la MA sur l'activité motrice (engagement moteur) en réponse à la musique. Cependant, la QOM inclut l'ensemble des comportements moteurs produits au cours de l'activité comme les mouvements rythmiques et non rythmiques. Or, nous avons observé dans une autre étude que ces mouvements pouvaient être influencés différemment par la musique (**étude 1 chapitre 5**). Par conséquent, une comparaison de la production spontanée de différents mouvements rythmiques et non rythmiques en réponse à la musique chez des personnes atteintes de la MA et chez des témoins permettrait de vérifier l'impact de la MA sur l'engagement moteur et rythmique à la musique à travers différents comportements. Selon nos prédictions, il est attendu que la production spontanée de mouvements rythmiques de la tête et des lèvres (production de chant) est plus élevée en réponse à la musique chez des contrôles que chez des personnes atteintes de la MA.

Effet du contexte social sur les mouvements rythmiques spontanés en réponse à la musique dans la maladie d'Alzheimer

L'effet du contexte social sur la production spontanée de mouvements rythmiques en réponse à la musique a aussi été examiné chez des personnes atteintes de maladies neurodégénératives. Plusieurs études ont démontré lors de l'écoute de musique que la présence physique d'un musicien par comparaison à un enregistrement musical augmente l'engagement moteur de ces personnes même à des stades avancés de la maladie (Sherratt, Thornton, & Hatton, 2004; Holmes, Knights, Dean, Hodkinson, & Hopkins, 2006; Lesaffre, Moens, & Desmet, 2017). L'influence de la présence d'un chanteur a également été étudiée sur la production spontanée de mouvements rythmiques de la tête et des lèvres chez des personnes atteintes de la MA (**étude**

1 chapitre 5). Dans cette étude, la présence physique d'un chanteur a été comparée à un enregistrement audio-visuel de ce chanteur au cours d'une tâche de synchronisation au rythme de la musique. Cependant, aucune différence n'a été trouvée entre ces deux conditions sur la production de ces comportements. Ces études diffèrent cependant au niveau des consignes. Dans les premières études, aucune consigne particulière n'était expliquée au participant alors qu'il était demandé de se synchroniser au rythme de la musique dans la dernière étude. Etant donné l'effort cognitif lié à la tâche en particulier pour les personnes atteintes de la MA, il est possible que la maladie ait limité l'effet du contexte social sur ces comportements au cours de la tâche de synchronisation au rythme de la musique. Ainsi, nous attendons dans une comparaison entre un groupe MA et un groupe contrôle que la présence physique du chanteur augmente davantage la production spontanée de mouvements rythmiques de la tête et des lèvres en réponse à la musique dans le groupe contrôle que dans le groupe MA.

Effet du contexte social sur les comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle dans la maladie d'Alzheimer

Un effet de la présence physique d'une chanteuse a toutefois été trouvé sur la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle, évaluée par la fréquence des expressions faciales émotionnelles (EFE), chez des personnes atteintes de la MA au cours de la tâche de synchronisation au rythme de la musique (**étude 1 chapitre 5**). Cet effet est néanmoins influencé par les caractéristiques temporelles de la musique et est limité par une fréquence relativement basse des EFE. Cependant, une autre étude montre que le degré d'implication du musicien dans l'interaction sociale avec des personnes atteintes de la MA augmente la fréquence des expressions faciales émotionnelles positives (EFE+) de ces participants sans consigne particulière de synchronisation (Cevasco, 2010). La MA et l'effort cognitif lié à la tâche de synchronisation pourraient donc réduire non seulement l'engagement rythmique mais aussi l'engagement social et émotionnel des participants ainsi que l'effet du contexte social sur ces comportements au cours d'une activité conjointe de synchronisation au rythme de la musique. Par conséquent, cette présente étude propose de vérifier l'effet du contexte social sur l'engagement rythmique, social et émotionnel dans la MA par comparaison à un groupe contrôle. Il est attendu que cet effet du contexte social sur ces comportements soit plus important pour le groupe contrôle que pour le groupe MA.

L'examen de la durée de regard du participant vers le chanteur pourrait nous renseigner sur l'attention des participants portée au chanteur. En effet, le contact visuel est un comportement non verbal particulièrement sensible à la relation sociale comme démontré précédemment (Kendon, 1967; Mehrabian, 1972). Le contact visuel dans un face à face est le signe d'attention, d'intérêt et d'engagement envers l'interlocuteur (Argyle & Cook, 1976). Certaines études démontrent d'ailleurs que le face à face en présence physique de l'autre personne entraîne une durée plus longue du regard des participants vers l'interlocuteur qu'à travers un enregistrement audio-visuel (Gullberg & Holmqvist, 2006; Diener, Pierroutsakos, Troseth, & Roberts, 2008). L'examen de la durée de regard du participant vers la tablette et vers le chanteur permettrait ainsi de vérifier si la présence physique du chanteur attire plus l'attention que l'enregistrement audio-visuel de celui-ci au cours de la tâche de synchronisation et si cet effet est plus important pour le groupe contrôle que pour le groupe MA.

En plus de l'examen des EFE et de la durée du regard, l'intensité de l'engagement à la musique peut être influencée par le contexte social. En effet, l'intensité du mouvement était plus élevée lors de la synchronisation au rythme de la musique réalisée en groupe qu'en individuel chez des enfants (De Bruyn, Leman, & Moelants, 2009).

Impact des troubles cognitifs spécifiques sur les comportements en réponse à la musique dans la maladie d'Alzheimer

Des troubles cognitifs spécifiques à la MA pourraient également moduler les comportements non verbaux au cours de l'activité conjointe de synchronisation au rythme de la musique chez des personnes atteintes de la MA. En effet, la mémoire de travail, l'attention, les fonctions exécutives et les praxies gestuelles sont quelques fonctions qui semblent particulièrement atteintes dans la maladie d'Alzheimer (Baddeley, Bressi, Della Sala, Logie, & Spinnler, 1991; Perry & Hodges, 1999; Sheridan, Solomont, Kowall, & Hausdorff, 2003; Baudic et al., 2006; Belleville, Chertkow, & Gauthier, 2007; Lesourd et al., 2013). Cependant, nous avons peu de connaissance sur les liens qui pourraient exister entre ces troubles cognitifs et la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle ainsi que la production spontanée de mouvements rythmiques en réponse à la musique. Par conséquent, dans une analyse complémentaire aux comparaisons des différents comportements entre le groupe MA et le groupe contrôle, nous examinons le lien entre les troubles cognitifs dans la MA et les différents comportements produits en réponse à la musique.

Objectifs

Dans cette présente étude, nous avons examiné la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle (EFE, direction du regard et intensité de l'engagement à la musique) chez des personnes atteintes de la MA et chez des témoins. La production spontanée de mouvements rythmiques (tête et lèvres) et non rythmiques (tête) a également été examinée entre un groupe MA et un groupe contrôle. Ces différents comportements sont produits au cours d'une tâche de synchronisation au rythme de la musique réalisée en action conjointe avec un chanteur en présence physique ou à travers un enregistrement.

Cette étude a pour objectif de vérifier (1) si les personnes atteintes de la MA présente une production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle et liés au rythme de la musique moins élevée que les contrôles au cours d'une tâche de synchronisation au rythme de la musique. Un autre objectif est d'évaluer (2) si la présence physique d'un chanteur augmente plus la production de ces comportements par comparaison à la présence pré-enregistrée de celui-ci dans le groupe contrôle que dans le groupe MA.

En complément à l'évaluation de l'impact de la MA sur la production de comportements, un lien a été examiné entre ces différents comportements et le déclin cognitif, l'âge, l'humeur, l'expertise musicale et le genre afin d'identifier les facteurs pouvant moduler la production de comportements en réponse à l'activité de synchronisation au rythme de la musique.

De plus, l'ajout de tests cognitifs permet d'examiner si les troubles cognitifs spécifiques à la MA influencent la production des comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle et liés au rythme de la musique dans la tâche de synchronisation chez les participants atteints de la MA. Ainsi, il est attendu que les faibles performances à des tests évaluant la mémoire de travail, l'attention, les fonctions exécutives et les praxies gestuelles soient liées à une production moins élevée des différents comportements non verbaux dans le groupe MA.

Enfin, nous avons observé la production des comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle au cours d'entretiens réalisés avant et après la tâche de synchronisation afin de vérifier (1) si la MA réduit la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale de manière générale mais aussi (2) pour observer si l'activité de synchronisation a un impact sur la production de comportements non verbaux dans une conversation.

Méthodologie

Participants

Les participants sont les mêmes que présentés dans notre étude précédente examinant les performances de synchronisation et la quantité de mouvements (**étude 2 chapitre 6**).

Quarante-huit personnes droitières (38 femmes) avec MA (11 avec MA sans étiologie, 32 avec MA avec étiologie vasculaire et 5 avec démence vasculaire) âgées de 70 à 92 ans (âge moyen = 82.8 ans ; écart-type = 5.5) ainsi que 49 témoins droitiers (37 femmes) âgés de 73 à 91 ans (âge moyen = 80.9 ans ; écart-type = 5.2 ; **Table 2**) ont été inclus dans l'analyse de cette étude. Tous les participants ont été recrutés lors de leur venue à un hôpital de jour (hôpital de jour des Bateliers, Lille, France) pour une évaluation multidisciplinaire soit liée à des problèmes de mémoire (n = 58), soit liée à un risque de chute (n = 30), soit comme accompagnants (n = 9).

Questionnaires

Les questionnaires et tests sont les mêmes que rapportés dans l'étude précédente (**étude 2 chapitre 6**). Pour rappel, des questionnaires ont été administrés aux participants et à leurs aidants par l'infirmière en charge pour évaluer l'autonomie avec *Activities of Daily Living* (ADL, (Galasko et al., 1997)), l'impact des troubles comportementaux avec *Neuropsychiatric Inventory* (NPI, (Sisco et al., 2000)) et la détresse de l'aidant avec *Zarit Burden Interview* (mini-Zarit, (Bédard et al., 2001)) pour les patients étant venus pour un dépistage des troubles cognitifs ou d'une éventuelle maladie neurodégénérative. Pour les patients qui n'étaient pas venus pour un dépistage de troubles cognitifs, seul le questionnaire ADL évaluant l'autonomie leur a été administré par l'infirmière. Le déclin cognitif a été évalué pour l'ensemble des participants par le Mini-Mental State Examination (MMSE, Folstein, Folstein, & McHugh, 1975) dans les quatre mois préalables à la venue du participant à l'hôpital.

L'évaluation du *Questionnaire d'Expertise Musicale* (Ehrlé, 1998) et du questionnaire d'humeur *State-Trait Anxiety Inventory* (STAI, (Spielberger, 1983)) a été réalisée pour l'ensemble des participants par un psychologue (M. Ghilain) aveugle du groupe d'appartenance avant le premier entretien. Les scores obtenus pour chacun de ces tests et questionnaires sont rapportés par groupe dans l'**Annexe 1**.

Epreuves cognitives

Une évaluation cognitive plus approfondie a été administrée aux participants étant venus pour une consultation liée à des problèmes de mémoire. Ces épreuves évaluent la mémoire de travail, la mémoire épisodique, l'attention et la vitesse de traitement, les fonctions exécutives, le langage, les capacités visuo-spatiales ainsi que les praxies gestuelles. Le détail des scores sont rapportées dans l'**Annexe 1**. Ces épreuves ont été réalisées en une seule séance (1h30 approximativement) par une des trois psychologues du service (C. Jougleux, S. Schoenenburg et A. Clerckx). Si des troubles cognitifs étaient observés par le neurologue ou le gériatre chez les personnes venues consultées à la suite d'une chute, il était proposé au patient de revenir pour un dépistage de maladie neurodégénérative.

Matériel auditif

Les séquences métronomiques sont composées de beats réguliers présentés à un tempo 'modéré' (*Inter-Onset Interval*, IOI de 800 ms). Les séquences musicales correspondent à un extrait musical d'une chanson populaire française (« Java bleue »), très connue des personnes âgées. Cet extrait musical présente une métrique ternaire (1:3) et un tempo modéré (intervalle de 800 ms entre les beats forts). Les deux types de séquences auditives sont d'une durée équivalente (60 secondes chacune). Les stimuli auditifs ont été présentés à un niveau auditif confortable (75 dB) et traités par le logiciel Audacity (Free Software Inc., Boston).

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est le même qu'utilisé précédemment (**étude 2 chapitre 6** pour description détaillée). Pour rappel, deux plaques de force ont été disposées l'une en face de l'autre. Sur l'une des plaques se trouve la chaise du participant, équipée d'une tablette fixée sur l'accoudoir droit, qui permet de taper avec la main droite au rythme des séquences auditives. Sur l'autre plaque de force, le chanteur est assis, face au participant avec une tablette tenue de sa main gauche qui permet de taper avec la main droite au rythme des séquences auditives. Les capteurs de mouvements placés sous la tablette du participant et sous celle du chanteur permettent de mesurer la synchronisation du tapping. Les capteurs situés sous les plaques de force (un sous chaque coin et un sous les pieds) permettent de mesurer la quantité de mouvements (QOM) dont les résultats sont présentés dans une étude précédente (**étude 2**

chapitre 6). Deux webcams et une vidéo-caméra sont utilisées pour enregistrer les participants et le chanteur au cours des tâches de tapping et des entretiens.

Entretien Pré-activité

Après avoir installé le participant, un entretien semi-directif était réalisé par un psychologue (M. Ghilain) aveugle du groupe d'appartenance qui prenait place à côté du patient (angle de 90° et distance de 80 cm du participant). Cet entretien était filmé par une webcam (enregistrement du corps dans sa globalité) et une vidéo-caméra (enregistrement en plan rapproché sur le visage). La procédure de cet entretien a été reprise d'études précédentes (Di Pastena, 2014; Narme et al., 2014; Schiaratura et al., 2015). Elle consiste à présenter aux participants deux photographies (parmi quatre) datant des années 30-50 (cf. **Annexe 2**) représentant des activités de la vie quotidienne comme support à l'entretien. Après avoir choisi l'une des deux photographies, le participant était invité à expliquer la raison de son choix. La présentation des deux photographies parmi quatre était aléatoire pour chaque participant. La durée de cet entretien était limitée à trois minutes environ.

Tâches de synchronisation

Après le premier entretien, il était demandé au participant de taper au rythme de séquences auditives (métronome et musique) dans quatre conditions. En condition de présence physique, le chanteur chantait et réalisait la tâche en même temps que le participant. La distance séparant le participant du chanteur était de 200 cm. En condition pré-enregistrée, le chanteur était remplacé par un grand écran (158 cm x 92 cm) sur lequel était diffusé son enregistrement en grandeur réelle (distance de 215 cm entre le participant et l'écran). Le dispositif expérimental composé des deux chaises était entouré d'un rideau qui permettait d'isoler le participant des événements distrayants pendant l'étude. Les quatre conditions expérimentales (séquences métronomiques et musicales en présence physique et pré-enregistrée du chanteur) ont été proposées dans un ordre aléatoire à chaque participant au cours d'une seule session. Cependant, seules les conditions musicales ont été analysées dans cette étude.

Entretien Post-activité

La même procédure que dans l'entretien pré-activité a été réalisée mais avec deux autres photographies. Ensuite, des questions étaient posées au participant à la fin de la session lui demandant une évaluation subjective de ses performances ainsi que ses préférences quant aux différentes conditions présentées. Le détail de ces évaluations est rapporté dans l'**Annexe 3**.

Mesures

Le décodage *a posteriori* des comportements non verbaux est similaire à celui réalisé précédemment (**étude 1 chapitre 5**). Cependant, il a été effectué uniquement dans les conditions musicales et pas dans les conditions métronomiques. Le décodage a été réalisé par deux observatrices aveugles du groupe d'appartenance sur base des enregistrements des participants lors des conditions musicales (durée des conditions est d'une minute chacune) et lors des deux entretiens (trois premières minutes des entretiens) à partir de la webcam et de la vidéo-caméra dirigées vers le participant.

Les comportements décodés liés à la relation sociale et émotionnelle incluaient les expressions faciales émotionnelles positives (EFE+) et négatives (EFE-) ainsi que la direction du regard (regard vers le chanteur, vers la tablette et vers une autre direction), l'intensité de l'engagement des réponses (à la musique et à l'interaction sociale) et la valence du discours. Les comportements liés au rythme de la musique comprenaient la production spontanée de mouvements rythmiques de la tête et des lèvres (correspondant à un comportement de chant). Enfin, des comportements non rythmiques comme les mouvements non rythmiques de la tête (ex. détourner la tête) ont aussi été observés.

Le décodage assisté par ordinateur a été effectué grâce au logiciel BORIS (*Behavioral Observation Research Interactive Software*, Friard & Gamba, 2016). Chaque observatrice avait la responsabilité de décoder l'ensemble des comportements non verbaux. Cependant, le décodage a été réalisé pour un comportement à la fois (un comportement par visionnage de l'enregistrement). A chaque fois que le comportement apparaissait, l'observateur appuyait sur une touche du clavier associée spécifiquement à ce comportement. Les comportements ont été décodés soit en fréquence, soit en durée. En fréquence, l'observateur pressait une seule fois le bouton associé au comportement lors de l'apparition du comportement. En durée, l'observateur pressait le bouton associé au comportement une première fois quand le comportement apparaissait et une deuxième fois quand il se terminait.

Les EFE+ (joie) et les EFE- (tristesse, colère, dégoût, peur) des participants ont été décodées selon les critères fixés par le FACS (*Facial Action Coding System*, Ekman & Friesen, 1978) d'après la méthode proposée par Argyle (1975). Ces comportements ont été calculés en fréquence par minute pour chaque condition et pour chaque entretien (décodage par condition et par entretien).

La direction du regard des participants a été décodée en distinguant la direction du regard vers le partenaire (chanteur/interlocuteur), vers la tablette et vers une autre direction (regard vers la gauche et/ou vers la droite) dans les conditions musicales. Ces comportements ont été analysés en pourcentage de durée par rapport à la durée de l'enregistrement pour chaque condition (décodage par condition). Seule la direction du regard vers l'interlocuteur a été décodée lors des entretiens (décodage par entretien).

L'intensité de l'engagement des réponses comportementales à la musique (conditions musicales) et à l'interaction sociale (entretiens) a été évaluée sur base d'une échelle de Likert à quatre points (intensité de l'engagement : *pas du tout* = 0, *un peu* = 1, *modérément* = 2, *beaucoup* = 3) pour chaque condition et pour chaque entretien.

La valence du discours a également été jugée sur une échelle de Likert à quatre points (valence positive : *pas du tout* = 0, *un peu* = 1, *modérément* = 2, *beaucoup* = 3) pour chaque entretien.

La production spontanée de mouvements rythmiques de la tête et des lèvres (correspondant à un comportement chanté) a été mesurée en pourcentage de durée des comportements par rapport à la durée de l'enregistrement pour chaque condition. Enfin, le décodage de la production spontanée de mouvements non rythmiques de la tête a été analysée en fréquence par minute pour chaque condition.

Par conséquent, les comportements décodés dans les conditions musicales sont :

- EFE+, EFE-, regard vers le chanteur, vers la tablette et vers une autre direction et l'intensité de l'engagement à la musique comme comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle
- Mouvements rythmiques de la tête et des lèvres comme comportements rythmiques spontanés

Les comportements décodés dans les entretiens sont :

- EFE+, EFE-, regard vers l'interlocuteur, intensité de l'engagement dans l'interaction sociale et la valence du discours comme comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle

Une évaluation de fiabilité inter-juge a été effectuée pour chaque comportement décodé par deux observatrices indépendantes selon les mêmes consignes. Les accords inter-juges ont été réalisés sur base de douze échantillons répartis sur six participants. Sur base de la littérature (Harrigan, Rosenthal, & Scherer, 2005; Schiaratura et al., 2015), nous avons obtenu pour chacun des comportements un accord inter-juge supérieur à .70 et significatif à $p < .001$ (EFE+, EFE-, Regard vers le partenaire, vers la tablette, Lèvres pour les conditions musicales et Engagement et valence du discours pour les entretiens) et à $p < .01$ (Engagement et Tête dans les conditions musicales, **Table 1**).

Table 1. Fiabilité inter-juge sur les comportements décodés en réponse à la musique et durant les entretiens

Comportements non verbaux décodés		Musique		Entretien	
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Comportements liés à la relation sociale et/ou émotionnelle	EFE+	.95	< .001	.92	< .001
	EFE-	.91	< .001	.91	< .001
	Regard vers le partenaire	.97	< .001	.99	< .001
	Regard vers la tablette	.89	< .001	-	-
	Regard vers autre direction ^a	-	-	-	-
	Engagement des réponses	.73	.007	.90	< .001
	Valence discours	-	-	.90	< .001
Comportements liés au rythme de la musique	Tête	.79	.002	-	-
	Lèvres	.98	< .001	-	-
Comportements non rythmiques	Tête	.75	.005	-	-

^a Trop peu de comportements ont été identifiés pour permettre une analyse statistique de fiabilité inter-juge pour le pourcentage de durée du regard vers une autre direction

EFE+ : expressions faciales émotionnelles positives (fréquence/minute) ; EFE- : expressions faciales émotionnelles négatives (fréquence/minute) ; Regard vers le chanteur (pourcentage de durée) ; Regard vers la tablette (pourcentage de durée) ; Regard vers autre direction (pourcentage de durée) ; Engagement des réponses : intensité de l'engagement des réponses à la musique et à l'interaction sociale (échelle Likert) ; Valence du discours (échelle Likert) ; Tête = production spontanée de mouvements rythmiques de la tête (pourcentage de durée) ; Lèvres = production spontanée de mouvements rythmiques des lèvres (pourcentage de durée) ; Non rythmique = mouvements non rythmiques de la tête (fréquence/minute).

Résultats

Caractéristiques des groupes

Les comparaisons entre les groupes sur base des données démographiques ont été réalisées par des t-tests quand les distributions étaient normales et par le test Wilcoxon Mann-Whitney U quand au moins une des distributions n'était pas normale. Un test de Chi² Pearson a été utilisé pour la comparaison des ratios de genre et de niveau socio-culturel (NSC).

Les résultats des analyses ont montré que les deux groupes (groupe MA et groupe contrôle) ne se différençaient pas en termes d'âge, de genre, de niveau socio-culturel (NSC), d'expertise musicale, et sur le score au questionnaire d'humeur STAI (**Table 2**). En revanche, les deux groupes se différençaient au niveau de la sévérité des troubles cognitifs évaluée par le MMSE ($p < .001$) et au niveau de l'autonomie évaluée par l'ADL ($p < .001$). Les moyennes et écarts-types de l'ensemble des scores obtenus aux tests cognitifs et aux questionnaires cliniques pour les deux groupes sont rapportés dans l'**Annexe 1**.

Table 2. Caractéristiques des groupes (moyennes \pm écarts-types)

	MA (N = 48)	Contrôle (N = 49)	p
Age	82.8 \pm 5.5	80.9 \pm 5.2	.08
Genre (homme/femme)	10/38	12/37	.66
NSC ^a	8/26/6/8	7/19/9/14	.34
Questionnaire d'expertise musicale (/28)	4.3 \pm 3.1	4.8 \pm 3.2	.46
MMSE (/30)	20.2 \pm 3.6	28.1 \pm 1.2	< .001
ADL (/6)	5.0 \pm 0.9	5.7 \pm 0.6	< .001

Mann-Whitney U tests pour la comparaison inter-groupe sauf pour l'âge (t-test), le genre et le NSC (test Chi²).

^aNSC, Poitrenaud (2001) : niveau socio-culturel en 4 catégories

Comportements non verbaux dans les conditions musicales

La production spontanée des différents comportements non verbaux (en fréquence/min ou pourcentage de durée) obtenue pour chaque condition auprès de personnes atteintes de la MA ou de maladies apparentées et des participants contrôles est rapportée à la **Table 3**.

Table 3. Comportements non verbaux (en fréq/min ou pourcentage de durée) produits par les personnes MA et contrôles en réponse à la musique en présence physique et pré-enregistrée du chanteur, (M ± SE).

Musique	Comportements liés à la relation sociale					Comportements rythmiques		Non rythmique
	EFE+	EFE-	Reg chanteur	Reg tablette	Reg autre	Tête	Lèvres	Tête
MA								
Physique	4.09 ± .56	1.12 ± .23	.43 ± .05	.45 ± .05	.04 ± .02	.42 ± .04	.33 ± .04	5.17 ± .73
Pré-enregistrée	3.64 ± .49	.98 ± .20	.51 ± .05	.39 ± .05	.02 ± .02	.43 ± .04	.27 ± .04	5.59 ± .77
Contrôle								
Physique	5.60 ± .61	.59 ± .16	.42 ± .05	.45 ± .05	.04 ± .02	.51 ± .04	.33 ± .04	3.39 ± .53
Pré-enregistrée	4.29 ± .48	.43 ± .15	.58 ± .04	.30 ± .04	.03 ± .01	.44 ± .04	.27 ± .03	4.26 ± .70

EFE+ : expressions faciales émotionnelles positives (fréquence/minute) ; EFE- : expressions faciales émotionnelles négatives (fréquence/minute) ; Reg chanteur : regard vers le chanteur (pourcentage de durée) ; Reg tablette : Regard vers la tablette (pourcentage de durée) ; Reg autre : Regard vers une autre direction (pourcentage de durée) ; Tête = production spontanée de mouvements rythmiques de la tête (pourcentage de durée) ; Lèvres = production spontanée de mouvements rythmiques des lèvres (pourcentage de durée) ; Non rythmique = mouvements non rythmiques de la tête (fréquence/minute).

Comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle

1. Expressions faciales émotionnelles

Une MANOVA à mesures répétées 2 (Valence) x 2 (Présence) avec le Groupe (groupe MA et groupe contrôle) comme facteur inter-sujet réalisée sur les EFE (fréq/min) des participants a révélé une interaction significative entre les facteurs Groupe x Valence ($F(1, 95) = 4.621, p = .034, \eta^2 = .05$). Comme le montrent les comparaisons *post hoc* (Fisher tests), la fréquence des EFE+ était moins élevée dans le groupe MA ($M = 3.86 \pm .48$) que dans le groupe contrôle ($M = 4.95 \pm .50, p < .05$) mais pas pour la fréquence des EFE- (**Figure 1**).

Les résultats ont montré une autre interaction significative entre les facteurs Valence x Présence ($F(1, 95) = 4.389, p = .039, \eta^2 = .04$). Comme le révèlent les tests *post hoc*, la fréquence des EFE+ était plus élevée dans la condition présence physique du chanteur ($M = 4.86 \pm .42$) que dans la condition pré-enregistrée du chanteur ($M = 3.97 \pm .34, p < .001$) mais pas pour les EFE- (**Figure 2**). L'analyse de la variance a également mis en évidence un effet du facteur Valence ($F(1, 95) = 92.095, p < .001, \eta^2 = .49$) montrant que la fréquence des EFE+ était plus élevée ($M = 4.41 \pm .35$) que celle des EFE- ($M = .78 \pm .11$). Un autre effet a été observé pour le facteur Présence ($F(1, 95) = 9.914, p = .002, \eta^2 = .09$) mettant en évidence que la fréquence des EFE (moyenne des EFE+ et EFE-) était plus élevée dans la condition présence physique ($M = 2.85$

$\pm .21$) que pré-enregistrée ($M = 2.33 \pm .17$) du chanteur. Il n'y avait pas d'autre interaction significative observée, ni d'effet du facteur groupe.

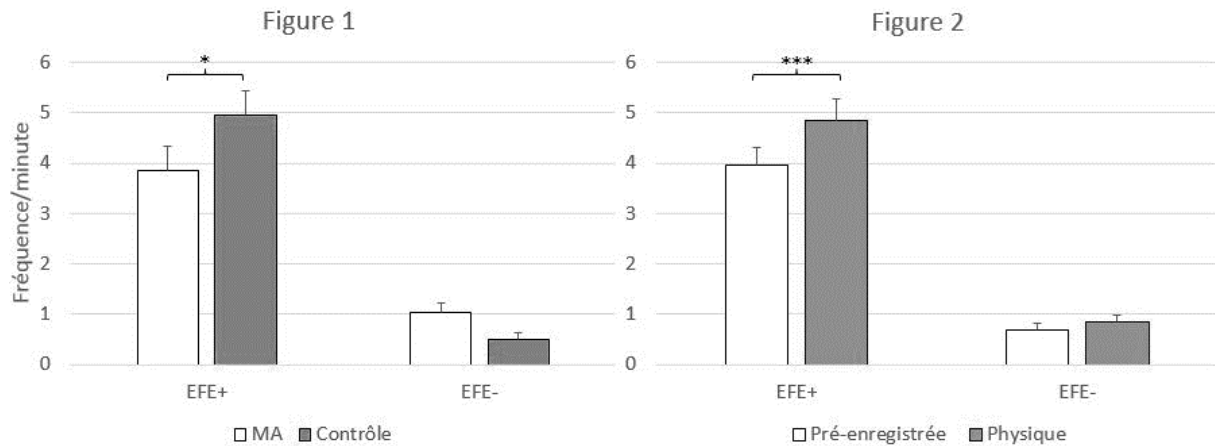


Figure 1. Fréquence moyenne par minute des expressions faciales émotionnelles positives (EFE+) et négatives (EFE-) des participants en réponse à la musique en fonction du groupe MA (personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer) et du Groupe Contrôle. **Figure 2.** Fréquence par minute des EFE+ et EFE- en réponse à la musique en fonction de la Présence physique et pré-enregistrée du chanteur. Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards. ***($p < .001$), *($p < .05$)

2. Direction du regard

Une MANOVA à mesures répétées 3 (Regard) x 2 (Présence) avec le Groupe (groupe MA et groupe contrôle) comme facteur inter-sujet réalisée sur le regard (vers le chanteur, vers la tablette et vers d'autres directions, en pourcentage de durée) a révélé une interaction significative entre les facteurs Regard et Présence ($F(2, 190) = 17.905, p < .001, \eta p^2 = .16$). Comme le montrent les tests *post hoc*, le pourcentage de la durée de regard vers le chanteur était plus élevée dans la condition présence pré-enregistrée du chanteur ($M = .54 \pm .03$) que dans la condition présence physique du chanteur ($M = .43 \pm .03, p < .001$), alors que la durée de regard vers la tablette était plus longue dans la condition présence physique ($M = .45 \pm .03$) que dans la condition présence pré-enregistrée du chanteur ($M = .35 \pm .03, p < .001$). Cependant, aucune différence entre les deux conditions n'a été observée pour la durée de regard vers une autre direction (**Figure 3**). Les résultats ont également mis en évidence un effet du facteur Regard ($F(2, 190) = 55.187, p < .001, \eta p^2 = .37$) montrant que le regard vers le chanteur ($M = .48 \pm .03$) durait plus longtemps que le regard vers la tablette ($M = .40 \pm .03$) et plus longtemps que celui vers une autre direction ($M = .03 \pm .01$). Enfin, il n'y avait pas d'autre effet ou interaction significative.

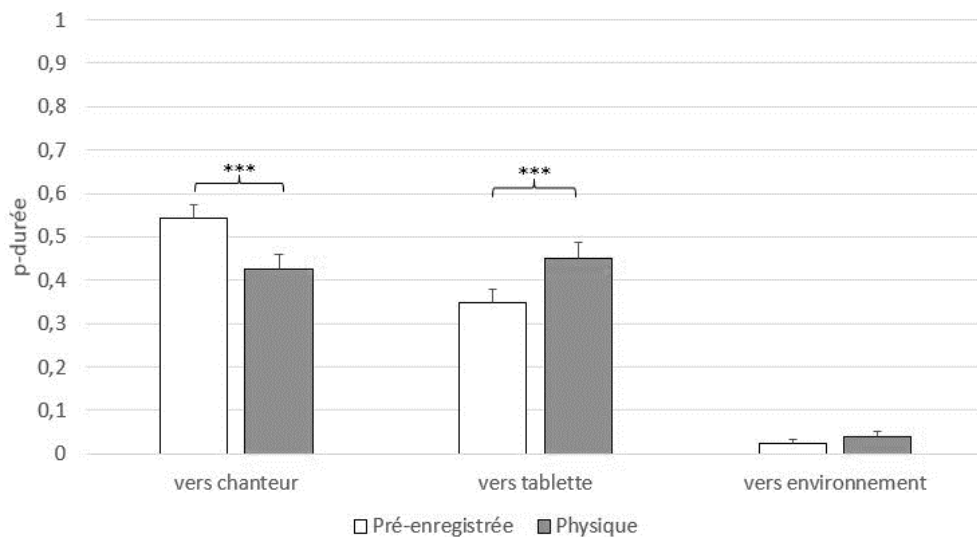


Figure 3. Pourcentage moyen de durée (p-durée) du regard vers le chanteur, vers la tablette et vers une autre direction en fonction de la Présence physique et pré-enregistrée du chanteur en réponse à la musique. Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards. ***($p < .001$)

3. Intensité de l'engagement des réponses comportementales

Des tests Wilcoxon Mann-Whitney U ont été réalisés sur l'intensité de l'engagement des comportements en réponse à la musique entre les groupes (MA et Contrôle) en fonction de la Présence physique et pré-enregistrée du chanteur. Cependant, les tests n'ont pas révélé de différence significative.

Un test χ^2 McNemar a également été effectué sur l'intensité de l'engagement à la musique en Présence physique et pré-enregistrée du chanteur en fonction du groupe MA et du groupe Contrôle. Pour réaliser ce test χ^2 , les quatre points de l'échelle de Likert ont été divisés en deux catégories (« *peu engagé* » = 0, « *très engagé* » = 1). Comme l'illustre la **Table 4**, le test a montré que proportionnellement, il y avait plus de personnes très engagées que peu engagées à la musique dans le groupe contrôle (31/10, $\chi^2(1) = 9.76, p = .002$) mais pas dans le groupe MA (13/23, ns).

Table 4. Fréquence des participants étant peu ou très engagés à la musique au cours des conditions de Présence pré-enregistrée et physique du chanteur en fonction du groupe (groupe MA et groupe contrôle).

Engagement		Présence physique	
		Peu engagé	Très engagé
MA			
Présence pré-enregistrée	Peu engagé	13	8
	Très engagé	4	23
Contrôle			
Présence pré-enregistrée	Peu engagé	10	4
	Très engagé	4	31

Production spontanée de mouvements rythmiques

1. Mouvements de tête

Une MANOVA à mesures répétées 2 (Présence) avec le Groupe (groupe MA et groupe contrôle) comme facteur inter-sujet réalisée sur la production spontanée de mouvements rythmiques de la tête (pourcentage de durée) n'a révélé aucun résultat significatif.

2. Mouvements des lèvres

Une MANOVA à mesures répétées 2 (Présence) avec le Groupe (groupe MA et groupe contrôle) comme facteur inter-sujet réalisée sur la production spontanée de mouvements rythmiques des lèvres (pourcentage de durée) a mis en évidence un effet du facteur Présence ($F(1, 95) = 14.673, p < .001, \eta^2 = .13$) montrant que la durée des mouvements rythmiques des lèvres était plus élevée dans la condition présence physique ($M = .33 \pm .03$) que pré-enregistrée ($M = .27 \pm .02$) du chanteur. L'analyse n'a pas révélé d'interaction significative, ni d'effet du facteur Groupe.

Production spontanée de mouvements non rythmiques

Une MANOVA à mesures répétées 2 (Présence) avec le Groupe (groupe MA et groupe contrôle) comme facteur inter-sujet réalisée sur la production spontanée des mouvements non rythmiques de la tête n'a pas révélé de résultat significatif.

Analyse corrélationnelle

Des tests de corrélations de Pearson ont été réalisés pour chaque groupe afin de vérifier le lien entre les EFE+ et le regard vers le chanteur, l'intensité de l'engagement, les mouvements rythmiques de tête et des lèvres en réponse à la musique (moyenne des scores pour les conditions musicales).

Les tests de corrélation Pearson après application des corrections Bonferroni ont révélé une corrélation significative entre les EFE+ et l'intensité de l'engagement à la musique pour le groupe MA ($r = .45, p = .001$) et pour le groupe contrôle ($r = .47, p < .001$). Il n'y avait pas d'autres résultats significatifs.

Lien entre comportements non verbaux en réponse à la musique et données démographiques, déclin cognitif et humeur

Une régression multiple (de type pas-à-pas) a été réalisée sur l'ensemble des participants ($N = 97$) afin d'observer si le groupe (MA et contrôle), l'âge, le genre, l'expertise musicale et le score de STAI (humeur) pouvaient prédire la variance de la fréquence des EFE+ et des EFE-, le pourcentage de durée du regard vers le chanteur, des mouvements rythmiques de la tête et des lèvres ainsi que de l'intensité de l'engagement en réponse à la musique (score moyenné des conditions musicales). Des corrélations entre les variables indépendantes ont écarté le score MMSE (.82 avec groupe et .37 avec ADL), le NSC (.31 avec expertise musicale) et le score ADL (.41 avec groupe) dans cette régression car elles entraînaient un biais de redondance.

Pour la fréquence des EFE+ en réponse à la musique, aucun résultat significatif n'a été observé.

Pour la fréquence des EFE-, le modèle de régression était significatif ($Adj R^2 = .07, F(2,94) = 4.68, p = .01$). Le groupe prédit la fréquence des EFE- en réponse à la musique ($Beta = -.27, p = .007$) montrant que la fréquence plus basse des EFE- est liée au groupe contrôle.

Pour le pourcentage de durée du regard vers le chanteur, le modèle de régression était significatif ($Adj R^2 = .09, F(3, 93) = 4.32, p = .007$). Le genre prédit le pourcentage de durée vers le chanteur ($Beta = .26, p = .009$) mettant en évidence que la durée plus élevée de regard vers le chanteur est liée au genre masculin.

Enfin, pour l'intensité de l'engagement à la musique, le modèle de régression était significatif ($Adj R^2 = .06, F(2,94) = 4.08, p = .020$). Le score de la STAI ($Beta = -.22, p = .030$) et le groupe ($Beta = .22, p = .034$) prédisent l'intensité de l'engagement des participants à la musique

montrant que l'intensité élevée de l'engagement à la musique est liée à un score faible d'anxiété et au groupe contrôle.

Lien entre les comportements non verbaux et troubles cognitifs spécifiques

Une régression multiple (de type pas-à-pas) a été testée pour observer si les performances à des tests liés à certaines fonctions cognitives ont une influence sur la fréquence des EFE+ et des EFE-, le pourcentage de durée du regard vers le chanteur, des mouvements rythmiques de la tête et des lèvres ainsi que sur l'intensité de l'engagement en réponse à la musique.

Etant donné qu'une évaluation cognitive complète n'a été réalisée que sur une partie des participants (30 MA et 14 contrôles), la régression multiple (de type pas-à-pas) n'a été testée que sur une partie des MA ($N = 30$). Les scores aux tests du Digit Span backward (mémoire de travail), du test Stroop Victoria (attention et vitesse de traitement, partie dénomination), TMT (fonctions exécutives, condition B - condition A) et des praxies gestuelles ont été inclus dans l'analyse pour prédire la variance des mesures liées aux comportements non verbaux. Les prédicteurs ont été sélectionnés par rapport aux fonctions habituellement atteintes dans la MA et en retirant les tests qui étaient corrélés entre eux afin d'éviter un biais de redondance. Les tests ayant été exclus de l'analyse sont présentés à l'**Annexe 1**.

Pour la fréquence des EFE+, le modèle de régression était significatif ($Adj R^2 = .14$, $F(2,30) = 3.70$, $p = .037$). Le score des praxies gestuelles prédit la fréquence des EFE+ en réponse à la musique ($Beta = .41$, $p = .019$) mettant en évidence que la fréquence élevée des EFE+ est liée à un score élevé de praxies gestuelles.

Pour la fréquence des EFE-, aucun résultat significatif n'a été trouvé.

Pour le pourcentage de durée du regard vers le chanteur, le modèle de régression était significatif ($Adj R^2 = .16$, $F(1,31) = 7.22$, $p = .012$). Le score des praxies gestuelles prédit la durée du regard vers le chanteur ($Beta = -.43$, $p = .012$) montrant que la durée moins élevée du regard vers le chanteur est liée à un score élevée de praxies gestuelles.

Pour le pourcentage de durée des mouvements rythmiques de la tête et des lèvres, aucun résultat significatif n'a été révélé par l'analyse.

Enfin, pour l'intensité de l'engagement à la musique, le modèle de régression était significatif ($Adj R^2 = .18$, $F(2,29) = 3.35$, $p = .032$). Le score des praxies gestuelles prédit également

l'intensité de l'engagement à la musique ($Beta = .38, p = .028$) mettant en évidence que l'intensité élevée de l'engagement est liée à un score élevée de praxies gestuelles.

Comportements non verbaux dans les entretiens

1. Expressions faciales émotionnelles

Une MANOVA à mesures répétées 2 (Entretien) x 2 (Valence) avec le Groupe (groupe MA et groupe contrôle) comme facteur inter-sujet réalisée sur les EFE (fréq/min) des participants a révélé une interaction significative entre les facteurs Groupe x Valence ($F(1, 95) = 4.5442, p = .036, \eta p^2 = .05$). Comme le montrent les tests *post hoc*, la fréquence des EFE+ était moins élevée pour le groupe MA ($M = 3.15 \pm .24$) que pour le groupe contrôle ($M = 3.93 \pm .26, p < .01$) mais pas pour la fréquence des EFE- (**Figure 4**). Cette interaction Groupe x Valence est comparée à celle trouvée dans les conditions musicales dans l'**Annexe 4**. Les résultats de la MANOVA ont également révélé un effet du facteur Valence ($F(1, 95) = 79.215, p < .001, \eta p^2 = .45$) montrant que la fréquence des EFE+ ($M = 3.54 \pm .18$) était plus élevée que celle des EFE- ($M = 1.73 \pm .11$) au cours des entretiens. Il n'y avait pas d'autre interaction significative ou d'effet.

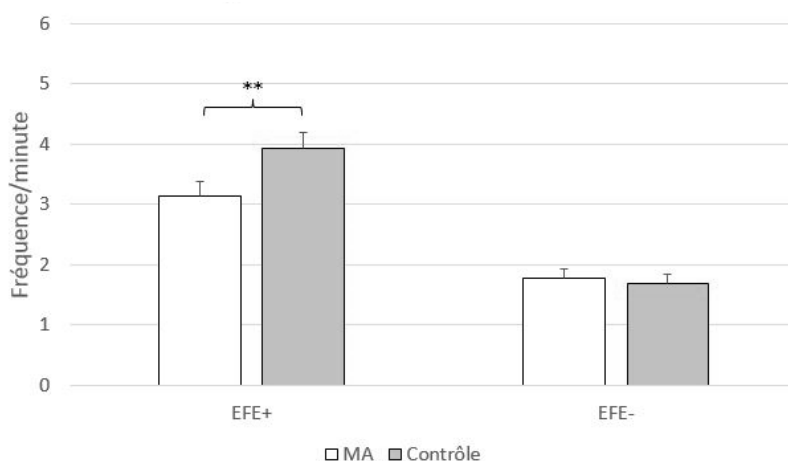


Figure 4. Fréquence moyenne par minute des expressions faciales émotionnelles positives (EFE+) et négatives (EFE-) des participants en réponse à l'interaction sociale en fonction du groupe MA (personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer) et du Groupe Contrôle. Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards. **($p < .01$)

2. Durée du regard

Une MANOVA à mesures répétées 2 (Entretien) avec le Groupe (groupe MA et groupe contrôle) comme facteur inter-sujet réalisée sur le regard vers l'interlocuteur (pourcentage de durée) n'a pas montré de résultat significatif.

3. Intensité de l'engagement des réponses comportementales

Des tests Wilcoxon Mann-Whitney U ont été réalisés sur l'intensité de l'engagement des comportements en réponse à l'interaction sociale entre les groupes (MA et Contrôle) en fonction de l'entretien PRE et POST. Cependant, les tests n'ont pas révélé de différence significative.

Un test Chi² McNemar a été effectué sur l'intensité de l'engagement à l'interaction sociale dans l'entretien PRE et POST en fonction du groupe MA et du groupe Contrôle. Les quatre points de l'échelle de Likert ont été divisés en deux catégories (« *peu engagé* » = 0, « *très engagé* » = 1). Comme le présente la **Table 5**, ce test a montré que proportionnellement, il y avait plus de personnes très engagées que peu engagées dans le groupe MA (8/32, $\chi^2 = 13.23$, $p < .001$) et dans le groupe Contrôle (3/39, $\chi^2 = 29.17$, $p < .001$) dans les entretiens.

Table 5. Fréquence des participants étant peu ou très engagés dans l'interaction sociale au cours de l'entretien PRE et POST activité en fonction du groupe (groupe MA et groupe contrôle).

Engagement		POST	
		Peu engagé	Très engagé
MA	Peu engagé	8	4
	Très engagé	4	32
Contrôle	Peu engagé	3	3
	Très engagé	4	39

4. Valence du discours

Des tests Wilcoxon Mann-Whitney U ont été réalisés sur la valence du discours entre les groupes (MA et Contrôle) en fonction de l'entretien PRE et POST. Cependant, les tests n'ont pas révélé de différence significative. Ces tests ont montré une valence moins positive du discours dans le groupe MA que dans le groupe contrôle au cours de l'entretien PRE ($Z = -3.11$,

$p = .002$) mais pas pour l'entretien POST. Aucune différence n'a été observée entre les entretiens PRE et POST tant dans le groupe contrôle que le groupe MA.

Un test Chi² McNemar a été effectué sur la valence du discours dans l'entretien PRE et POST en fonction du groupe MA et du groupe Contrôle. Les quatre points de l'échelle de Likert ont été divisés en deux catégories (discours « peu positif » = 0, « très positif » = 1). Comme l'illustre la **Table 6**, ce test a révélé que proportionnellement, il y avait plus de personnes qui présentent un discours très positif que peu positif dans le groupe contrôle (8/30, $\chi^2 = 11.61$, $p < .001$) au cours des entretiens mais pas dans le groupe MA (18/13).

Table 6. Fréquence des participants présentant un discours peu ou très positif dans l'interaction sociale au cours de l'entretien PRE et POST-activité en fonction du groupe (groupe MA et groupe contrôle).

Valence du discours		POST	
		Peu positif	Très positif
MA			
PRE	Peu positif	18	7
	Très positif	10	13
Contrôle			
PRE	Peu positif	8	5
	Très positif	6	30

Discussion

L'objectif de cette étude était d'examiner (1) si la maladie d'Alzheimer (MA) réduisait la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle et liés au rythme de la musique par comparaison à un groupe contrôle au cours d'une tâche de synchronisation au rythme de la musique. De plus, cette étude permettait de vérifier (2) si la présence physique par comparaison à la présence pré-enregistrée d'un chanteur augmentait plus la production de ces comportements dans le groupe contrôle que dans le groupe MA. Nos résultats principaux ont mis en évidence comme attendu un effet de la MA sur la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle (EFE+ et intensité de l'engagement à la musique). Cependant, un effet du contexte social sur la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle (EFE+) et liés au rythme de la musique (lèvres ou production de chant) a été trouvé tant pour le groupe MA que pour le groupe contrôle. Un effet de la présence du chanteur a également été obtenu pour les deux

groupes sur la durée de regard vers le chanteur mais celui-ci montre que la durée de regard vers le chanteur est moins importante en présence physique du chanteur par comparaison à un enregistrement audio-visuel.

Impact de la maladie d'Alzheimer sur les comportements non verbaux en réponse à la musique par comparaison au vieillissement 'normal'

Comme attendu, le groupe MA présente une fréquence des EFE+ et une intensité de l'engagement à la musique moins élevées que le groupe contrôle au cours d'une activité conjointe de synchronisation au rythme de la musique. Nos résultats montrent également que l'intensité de l'engagement des réponses à la musique est liée aux EFE+ mettant en évidence que plus l'intensité de l'engagement à la musique est élevée, plus la fréquence des EFE+ est élevée. Ces données suggèrent donc que la MA réduit l'engagement social et émotionnel induit par l'activité musicale par comparaison au vieillissement 'normal'. Ces résultats sont en cohérence avec les données obtenues dans nos précédentes études sur l'activité motrice (QOM) produite en réponse à la musique (**étude 2 chapitre 6**) et sur la fréquence des EFE+ (**étude 1 chapitre 5**), de même que sur les réponses à la musique liées à l'affect positif dans la MA (Garrido et al., 2018).

L'absence d'impact de la MA sur la production spontanée de mouvements rythmiques en réponse à la musique montre que l'engagement rythmique à la musique n'est pas altéré par la maladie au contraire de l'engagement social et émotionnel lors de l'activité conjointe de synchronisation. Cette absence de différence entre les groupes sur l'engagement rythmique rejoint également les données obtenues sur la synchronisation du tapping dans notre étude précédente (**étude 2 chapitre 6**). De plus, aucun lien entre ces comportements rythmiques n'a été trouvé avec le déclin cognitif global ou de fonctions cognitives spécifiques chez les participants atteints de la MA. Par conséquent, ces résultats suggèrent que le couplage audio-moteur à travers les performances de synchronisation et la production de mouvements rythmiques spontanés est préservé chez les personnes atteintes de la MA à des stades modérés par comparaison aux participants contrôles. Cet engagement rythmique pourrait être lié au plaisir ou à un affect positif comme l'ont montré d'autres études (**étude 1 chapitre 5** ; Sherratt et al., 2004 ; Garrido et al., 2018). Cependant, nous n'avons pas pu confirmer ce lien dans cette étude.

Influence de la présence du chanteur sur les comportements non verbaux durant la synchronisation au rythme de la musique

Comme attendu, la présence physique du chanteur augmente la fréquence des EFE+ et la durée des mouvements rythmiques des lèvres (associée à la production de chant) par comparaison à la présence pré-enregistrée de celui-ci. Cependant, cet effet du contexte social n'est pas influencé par les groupes. Cette absence de différence entre les groupes met donc en évidence que l'interaction sociale dans une tâche de synchronisation au rythme de la musique pourrait stimuler la production de certains comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle et à la musique tant chez des personnes atteintes de la MA que chez des participants présentant un vieillissement physiologique. Cet effet du contexte social converge avec les données de précédentes études montrant que l'interaction avec un musicien en présence physique augmente la qualité de la relation sociale (**étude 1 chapitre 5** ; Cevasco, 2010) et la production de comportements liés à la musique (Sherratt et al., 2004). Bien que l'effet du contexte social n'a pas été trouvé sur la production spontanée des mouvements rythmiques des lèvres chez des personnes atteintes de la MA dans notre étude précédente (**étude 1 chapitre 5**), cette divergence de résultats peut s'expliquer par un déclin cognitif plus sévère des participants de cette étude précédente par comparaison à ceux de cette présente étude.

L'augmentation de la qualité de la relation sociale et émotionnelle (à travers des EFE) induite par la présence physique du chanteur suggère que l'activité conjointe musicale, particulièrement en présence physique d'un partenaire, pourrait renforcer les liens sociaux chez les personnes avec MA (Cason et al., 2017; Baird & Thompson, 2018). Etant donné que ces personnes souffrent fréquemment d'isolement social et de troubles thymiques (Bungener, Jouvent, & Derouesné, 1996; Thomas et al., 2002; Starkstein, Jorge, Mizrahi, & Robinson, 2005; Mograbi & Morris, 2014), l'activité conjointe musicale permettrait de réduire ces troubles. De plus, l'effet du contexte social sur l'augmentation de la durée des comportements de chant (mouvements de lèvres) dans cette population met en évidence que le chant serait un mode d'expression à privilégier dans les interventions musicales afin de renforcer les liens sociaux. D'ailleurs, comme la production verbale est atteinte dans la maladie, l'utilisation du chant permettrait de faciliter la communication ainsi que d'améliorer l'humeur, l'expression des émotions et le bien-être des personnes atteintes de la MA et de leur entourage (Götell, Brown, & Ekman, 2003, 2009; Särkämö et al., 2014).

Dans cette présente étude ainsi que dans nos précédentes études, une synchronisation interactionnelle ou une imitation comportementale des comportements non verbaux peut être réalisée entre le participant et le chanteur en présence physique du chanteur (Mehrabian, 1972; Chartrand & Bargh, 1999; Knoblich, Butterfill, & Sebanz, 2011; Chartrand & Lakin, 2013). En revanche, seule une influence unidirectionnelle des comportements non verbaux du chanteur vers le participant est possible dans la condition pré-enregistrée. Or, l'adaptation bidirectionnelle des comportements non verbaux peut renforcer les sentiments d'affiliation et les comportements de coopération entre les partenaires (Hove & Risen, 2009; Kirschner & Tomasello, 2010; Vicaria & Dickens, 2016; Stupacher, Maes, Witte, & Wood, 2017; Stupacher, Wood, & Witte, 2017). Cette réactivité mutuelle aux comportements de l'autre pourrait expliquer comment la fréquence des EFE+ et la durée des mouvements rythmiques des lèvres sont augmentées par la présence physique du chanteur en comparaison à une condition pré-enregistrée, qui n'implique qu'une influence unidirectionnelle des comportements.

Aucun effet du contexte social n'a été observé sur la production spontanée de mouvements rythmiques de la tête, en cohérence avec les résultats obtenus dans une autre de nos études (**étude 1 chapitre 5**). De même, aucun effet du contexte social n'avait été observé sur les performances de synchronisation au rythme de la musique (**étude 2 chapitre 6**). Ces résultats suggèrent que la synchronisation interactionnelle des comportements non verbaux lors de la présence physique du chanteur n'influence pas différemment les mouvements rythmiques par comparaison à la condition pré-enregistrée. Selon nos hypothèses, l'effort cognitif induit par la tâche de synchronisation du tapping maintiendrait l'attention des participants pouvant réduire notamment l'effet du contexte social sur la production spontanée des mouvements rythmiques de la tête. Nous avons émis également l'hypothèse que l'examen de la durée de regard vers le chanteur nous permettait de vérifier si la présence physique du chanteur attirait plus l'attention du participant par comparaison à l'enregistrement audio-visuel étant donné que le regard a été rapporté comme un signe d'attention et d'engagement dans l'interaction sociale (Kendon, 1967; Argyle & Cook, 1976). Cependant, aucun lien n'a été trouvé entre la durée de regard et la production spontanée de mouvements rythmiques de la tête. Par conséquent, si aucune différence n'a été observée sur les mouvements rythmiques de la tête entre les deux conditions de présence, cela pourrait être le signe que ces deux situations peuvent stimuler la production des mouvements rythmiques de la tête.

Sur base de nos résultats, nous observons de manière surprenante que la durée de regard vers le chanteur est plus longue avec l'enregistrement qu'en présence physique du chanteur au cours

de la tâche de synchronisation au rythme de la musique. De plus, la durée de regard vers la tablette est plus élevée en présence physique du chanteur qu'avec l'enregistrement. Bien que ces résultats semblent suggérer que le face à face en présence physique du chanteur attire moins l'attention que l'enregistrement de celui-ci, ces conclusions doivent être nuancées par l'influence des normes sociales. Le fait de se savoir observé par le chanteur dans la condition de présence physique pourrait conduire le participant à se concentrer sur la tâche de synchronisation en suivant les consignes qui étaient de taper au rythme de la musique. De plus, le regard prolongé du chanteur vers le participant lors du face à face dans la condition de présence physique du chanteur pourrait entraîner de la gêne auprès du participant (Edelmann & Hampson, 1981) et le conduire à maintenir son regard davantage sur la tablette que vers le chanteur dans cette condition. En face à face avec l'enregistrement du chanteur, le participant se sentirait moins observé et plus libre dans la réalisation de la tâche de synchronisation et dans la production de ses mouvements comme le rapportent quelques études évaluant les effets de l'écran sur la communication et la qualité de la relation sociale (Manstead, Lea, & Goh, 2011; Philippot & Douilliez, 2011; Croes, Antheunis, Schouten, & Krahmer, 2016). Les résultats mis en évidence par notre étude suggèrent donc que certains comportements comme les mouvements rythmiques des lèvres (production de chant) et les EFE+ sont augmentés par la présence physique du chanteur alors que la production spontanée de mouvements rythmiques de la tête par exemple pourrait être stimulée tant par la présence physique que la présence pré-enregistrée du chanteur. Ces données montrent que l'utilisation du contexte virtuel, comme les enregistrements ou les vidéo-conférences, pourrait offrir des perspectives d'applications cliniques auprès de personnes atteintes de la MA lors de la réalisation d'interventions musicales. Il est toutefois à noter que ces sessions musicales pourraient avoir moins d'effet sur les émotions positives (EFE+) et l'action conjointe de chant (mouvements rythmiques des lèvres) que des interventions réalisées en présence physique du chanteur (cf. plus bas). Néanmoins, davantage de recherche devrait être effectuée dans ce domaine afin de confirmer l'effet de l'enregistrement audio-visuel sur la production spontanée de comportements non verbaux chez les personnes atteintes de la MA.

Influence de l'humeur, du genre et des troubles cognitifs sur les comportements produits en réponse à la musique dans la maladie d'Alzheimer

En complément à l'impact de la MA ou du déclin cognitif sur la fréquence des EFE+ et de l'intensité de l'engagement à la musique, il semble que l'humeur soit liée à la réduction de

l'intensité de l'engagement à la musique dans la MA. Dans une étude récente, Garrido et ses collaborateurs (2018) ont mis en évidence que les troubles thymiques modulaient la production de comportements liés au plaisir ainsi que les expressions faciales de personnes atteintes de MA au cours de l'écoute de musique. En effet, des troubles de l'humeur sont fréquemment observés dans la maladie d'Alzheimer (Bungener et al., 1996; Thomas et al., 2002; Starkstein et al., 2005; Mograbi & Morris, 2014). La présence de tels troubles pourrait donc avoir réduit la fréquence des EFE+ et l'intensité de l'engagement en réponse à la musique dans le groupe MA. De plus, comme les participants ont été évalués dans un hôpital de jour dans lequel ils effectuaient des tests en vue d'un possible diagnostic de MA, cette situation pourrait avoir augmenté leur anxiété et limité la production de comportements non verbaux liés à un affect positif durant l'étude.

D'autres indices suggèrent que l'humeur est affectée dans le groupe MA par comparaison au groupe contrôle. Notamment, nous avons remarqué une différence au niveau de la valence du discours entre les groupes au cours des entretiens mettant en évidence que proportionnellement, les personnes atteintes de la MA présentaient un discours moins positif que le groupe contrôle. De plus, nous avons trouvé que la fréquence des EFE- en réponse à la musique est liée au groupe suggérant que le groupe MA produit plus de EFE- en réponse à la musique que le groupe contrôle. Bien que ces résultats convergent avec une possible influence de l'humeur sur l'engagement moteur et émotionnel à la musique, nous n'avons pas remarqué de différence significative entre les groupes sur le score au questionnaire STAI évaluant l'humeur et l'anxiété. Par conséquent, un examen plus approfondi des possibles effets des troubles thymiques sur les réponses à la musique devrait être réalisé dans la maladie d'Alzheimer.

Nos résultats montrent également que le genre peut influencer la durée de regard vers le chanteur durant la tâche de synchronisation montrant que la présence d'hommes parmi les participants est liée à l'augmentation de la durée de regard vers le chanteur. Étant donné que la majorité des participants étaient des femmes et que le chanteur était un homme, il pourrait y avoir une influence du genre sur la durée de regard. Quelques études ont rapporté que les personnes de sexe différent se regardent moins longtemps dans une interaction sociale que les personnes du même sexe (Argyle & Ingham, 1972; Mulac, Studley, Wiemann, & Bradac, 1987). Cependant, l'inégalité de la proportion femmes-hommes dans cette présente étude demande de comparer les réponses des femmes et des hommes à taille égale d'échantillon afin de vérifier cet effet sur la durée de regard vers le chanteur.

Un lien avec d'autres facteurs comme l'âge et l'expertise musicale ont été examinés avec la production des comportements mais n'ont pas mis en évidence d'effet. Par conséquent,

l'expertise musicale ne conduit pas à plus d'expression corporelle en réponse à la musique chez les personnes âgées. De même, l'âge ne perturberait pas la production spontanée de comportements lors de la tâche de synchronisation au rythme de la musique.

L'atteinte de certaines fonctions cognitives spécifiques comme les praxies gestuelles semble être liée à une réduction de la fréquence des EFE+ et de l'intensité de l'engagement à la musique chez les participants atteints de la MA. Cette fonction est en effet fréquemment altérée dans la maladie (Lesourd et al., 2013). Etant donné que nos résultats montrent que la MA réduit uniquement la fréquence des EFE+ et l'intensité de l'engagement en réponse à la musique par comparaison à un groupe contrôle, il semble donc que parmi les tests cognitifs, l'évaluation des praxies gestuelles soit particulièrement sensible à l'impact de la MA. Cependant, il est étonnant qu'un lien soit trouvé entre les praxies gestuelles et les EFE+ ou l'intensité de l'engagement à la musique. En effet, les gestes lors de l'évaluation des praxies sont produits intentionnellement alors que les EFE+ et l'intensité de l'engagement sont des comportements produits spontanément. Il a d'ailleurs été montré précédemment que les praxies gestuelles chez des personnes atteintes de la MA ne sont pas liées aux gestes produits spontanément lors d'interactions sociales (Di Pastena, 2014). De plus, un lien a également été remarqué dans nos résultats entre les scores élevés du test évaluant les praxies gestuelles et la faible durée de regard vers le chanteur chez les participants atteints de la MA. Or, la durée de regard vers le chanteur ne semble pas être influencée par la MA par comparaison au groupe contrôle au contraire des EFE+ et de l'intensité de l'engagement. Selon la littérature, aucun lien n'a été rapporté précédemment entre les praxies gestuelles et des comportements non verbaux produits spontanément comme les EFE ou la direction du regard chez des personnes atteintes de la MA. Par conséquent, une exploration plus approfondie de l'influence de l'atteinte des praxies gestuelles sur les comportements non verbaux produits spontanément devrait être effectuée dans la MA afin de vérifier si un lien est également trouvé entre ces comportements.

Impact de la maladie d'Alzheimer sur les comportements non verbaux dans les entretiens

La réduction des comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle dans les conditions musicales pour le groupe MA par rapport au groupe contrôle a également été trouvée dans les entretiens. En effet, la fréquence des EFE+ et la valence positive du discours étaient moins élevées pour le groupe MA par comparaison au groupe contrôle. L'atteinte des EFE+

tant en réponse à la musique qu'au cours d'entretiens met en évidence que la MA réduit la production de certains comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle de manière générale. La réduction des EFE+ en réponse à la musique chez les participants atteints de la MA par comparaison au groupe contrôle pourrait donc s'expliquer par une réduction globale des EFE+ dans la MA, indépendamment du contexte. Cependant, la durée du regard vers l'interlocuteur ne diffère pas entre le groupe MA et le groupe contrôle comme le montre une étude antérieure (Rousseaux et al., 2010). De même, une préservation de l'intensité de l'engagement dans l'interaction sociale est observée chez ces personnes alors qu'une réduction de l'intensité de l'engagement à la musique a été trouvée pour le groupe MA par rapport au groupe contrôle. Cette différence met en évidence que l'engagement moteur spécifique à la musique pourrait être atteint dans la MA au contraire de l'engagement dans les interactions sociales.

Limites, perspectives et conclusion

Les résultats de cette étude mettent en évidence que la maladie d'Alzheimer réduit la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle comme les EFE+ et l'intensité de l'engagement à la musique au cours d'une activité de synchronisation en action conjointe. Cependant, la présence physique d'un chanteur dans cette tâche de synchronisation au rythme de la musique augmente la fréquence des EFE+ et la production de chant (mouvements des lèvres) des participants par comparaison à un enregistrement audio-visuel tant pour le groupe MA que pour le groupe contrôle. Ces résultats suggèrent donc que l'interaction sociale dans une activité musicale pourrait moduler la qualité de la relation sociale et émotionnelle ainsi que renforcer les liens sociaux chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. La production spontanée de mouvements rythmiques de la tête mais aussi l'intensité de l'engagement par contre ne sont pas influencées par le contexte social. Ces comportements pourraient toutefois être modulés tant par la présence physique du chanteur que par l'enregistrement audio-visuel comme le montrent les résultats obtenus sur la durée de regard.

L'activité de la synchronisation au rythme de séquences auditives ne montre cependant pas d'impact à court terme sur la production de comportements liés à la relation sociale et émotionnelle. Le mélange entre des séquences métronomiques et musicales en plus de la présence pré-enregistrée et physique du chanteur pourrait avoir réduit l'effet de l'activité sur les comportements non verbaux observés durant l'entretien post-activité. En effet, le

métronome semble réduire la fréquence des EFE+ et la production spontanée de certains mouvements rythmiques (**étude 1 chapitre 5 analyse complémentaire**). De même, il diminue la motivation (Styns, van Noorden, Moelants, & Leman, 2007; Leman et al., 2013) et les sentiments d'affiliation par comparaison à la musique (Stupacher, Maes, et al., 2017; Stupacher, Wood, et al., 2017). De plus, la durée de l'activité (quatre conditions d'une minute) ne serait pas assez longue pour entraîner des effets, même à court terme, sur le comportement.

Dans cette étude, l'examen de la présence du chanteur sur la production de comportements non verbaux au cours d'une activité conjointe de synchronisation au rythme de la musique nous renseigne sur l'impact de l'interaction sociale sur l'engagement rythmique, social et émotionnel des participants. Cependant, nos résultats suggèrent que l'utilisation d'un écran pourrait participer à l'augmentation de certains niveaux de l'engagement à la musique chez des personnes atteintes de la MA. Par conséquent, la combinaison de l'interaction sociale et de l'utilisation de l'écran au cours de cette activité permettrait d'avoir les avantages de l'un et de l'autre. Par exemple, une comparaison entre deux situations d'interaction sociale, l'une avec un face à face en présence physique du chanteur et l'autre à travers une vidéo-conférence permettrait de vérifier l'effet de l'écran sur la production spontanée de comportements non verbaux en réponse à l'activité musicale.

Remerciements : Une grande aide a été fournie par le Conseil Régional des Hauts-de-France et l'Université de Lille à M.G., le partenariat Hubert Curien du Ministère des Affaires Etrangères à S.S. et à M.L. ainsi que l'Institut Universitaire de France à S.S. les auteurs souhaitent remercier également Ivan Schepers de l'Université de Gand pour le développement du matériel. Nous sommes spécialement remerciant envers notre chanteur Sotirios Sideris, les gériatres (Dr D. Huvent et Dr J. Roche), les psychologues (C. Jougoux, S. Schoenenburg et A. Clerckx), le personnel de l'hôpital de jour des Bateliers à Lille, et aux participants qui ont accepté de prendre part à cette étude.

Liens d'intérêts : Les auteurs déclarent ne pas avoir de lien en rapport avec cet article.

Références

Argyle, M., & Ingham, R. (1972). Gaze, Mutual Gaze, and Proximity. *Semiotica*, 6(1), 32–49.
Argyle, M. (1975). *Bodily Communication*. New York: International University Press.

- Argyle, M., & Cook, M. (1976). *Gaze and mutual gaze*. Oxford, England: Cambridge University Press.
- Baddeley, A. D., Bressi, S., Della Sala, S., Logie, R., & Spinnler, H. (1991). The Decline of Working Memory In Alzheimer's Disease: Longitudinal Study. *Brain*, *114*(6), 2521–2542.
- Baird, A., & Thompson, W. F. (2018). The Impact of Music on the Self in Dementia. *Journal of Alzheimer's Disease*, *61*(3), 827–841.
- Baudic, S., Barba, G. D., Thibaudet, M. C., Smaghe, A., Remy, P., & Traykov, L. (2006). Executive function deficits in early Alzheimer's disease and their relations with episodic memory. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *21*(1), 15–21.
- Bayard, S., Erkes, J., Moroni, C. (2009). *Test du Stroop Victoria-Adaptation francophone*. CPCN-LR, Gignac.
- Bédard, M., Molloy, D. W., Squire, L., Dubois, S., Lever, J. A., & O'Donnell, M. (2001). The Zarit Burden Interview: A New Short Version and Screening Version. *The Gerontologist*, *41*(5), 652–657.
- Belleville, S., Chertkow, H., & Gauthier, S. (2007). Working memory and control of attention in persons with Alzheimer's disease and mild cognitive impairment. *Neuropsychology*, *21*(4), 458–469.
- Bungener, C., Jouvent, R., & Derouesné, C. (1996). Affective Disturbances in Alzheimer's Disease. *Journal of the American Geriatrics Society*, *44*(9), 1066–1071.
- Cason, N., Schiaratura, L., & Samson, S. (2017). Synchronization to Music as a Tool for Enhancing Non-Verbal Communication in People with Neurological Diseases. In M. Lesaffre, P.-J. Maes, & M. Leman (Eds.), *The Routledge Companion to embodied music interaction* (pp. 304–312). New York: Routledge
- Caussade, D., Henrich Bernardoni, N., Colletta, J.-M., & Vallée, N. (2015). Hand gestures and speech impairments in spoken and sung modalities in people with Alzheimer's disease. *Gesture and Speech in Interaction - 4th Edition (GESPIN 4)*, Rennes, France.
- Cevasco, A. M. (2010). Effects of the Therapist's Nonverbal Behavior on Participation and Affect of Individuals with Alzheimer's Disease During Group Music Therapy Sessions. *Journal of Music Therapy*, *47*(3), 282–299.
- Chartrand, T. L., & Bargh, J. A. (1999). The chameleon effect: The perception-behavior link and social interaction. *Journal of Personality and Social Psychology*, *76*(6), 893–910.
- Chartrand, Tanya L., & Lakin, J. L. (2013). The Antecedents and Consequences of Human Behavioral Mimicry. *Annual Review of Psychology*, *64*(1), 285–308.
- Croes, E. A. J., Antheunis, M. L., Schouten, A. P., & J. Krahmer, E. (2016). Teasing apart the effect of visibility and physical co-presence to examine the effect of CMC on interpersonal attraction. *Computers in Human Behavior*, *55*, 468–476.
- De Bruyn, L., Leman, M., & Moelants, D. (2009). Does social interaction activate music listeners? In S. Ystad, R. Kronland-Martinet, & K. Jensen (Eds.), *Computer music, modeling and retrieval. Genesis of meaning of sound and music. Lecture notes in computer science*. (Vol. 5493, pp. 93–106). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Di Pastena, A. (2014). *Communication verbale et non verbale dans la maladie d'Alzheimer : une atteinte globale ou différenciée ?* (Doctoral dissertation). Université de Lille, France.

- Diener, M. L., Pierroustakos, S. L., Troseth, G. L., & Roberts, A. (2008). Video Versus Reality: Infants' Attention and Affective Responses to Video and Live Presentations. *Media Psychology, 11*(3), 418–441.
- Edelmann, R. J., & Hampson, S. E. (1981). Embarrassment in dyadic interaction. *Social Behavior and Personality, 9*, 171-177.
- Ehrlé, N. (1998). *Traitement temporel de l'information auditive et temporal* (Doctoral dissertation). Université de Lille, France.
- Ekman, P., Friesen, W. (1978). *Facial Action Coding System: A technique for the measurement of facial movement*. Consulting Psychologists, Palo Alto.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). Mini-mental state: A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research, 12*(3), 189–198.
- Friard, O., & Gamba, M. (2016). BORIS: A free, versatile open-source event-logging software for video/audio coding and live observations. *Methods in Ecology and Evolution, 7*(11), 1325–1330.
- Galasko, D., Bennett, D., Sano, M., Ernesto, C., Thomas, R., Grundman, M., & Ferris, S. (1997). An inventory to assess activities of daily living for clinical trials in Alzheimer's disease. *Alzheimer Disease and Associated Disorders, 11*(Suppl2), S33–S39.
- Garrido, S., Stevens, C. J., Chang, E., Dunne, L., & Perz, J. (2018). Music and Dementia: Individual Differences in Response to Personalized Playlists. *Journal of Alzheimer's Disease, 64*(3), 933–941.
- Götell, E., Brown, S., & Ekman, S.-L. (2003). Influence of Caregiver Singing and Background Music on Posture, Movement, and Sensory Awareness in Dementia Care. *International Psychogeriatrics, 15*(4), 411–430.
- Götell, E., Brown, S., & Ekman, S.-L. (2009). The influence of caregiver singing and background music on vocally expressed emotions and moods in dementia care. *International Journal of Nursing Studies, 46*(4), 422–430.
- Grégoire, J. (2004). Factor Structure of the French Version of the Wechsler Adult Intelligence Scale–III. *Educational and Psychological Measurement, 64*(3), 463–474.
- Grober, E., & Buschke, H. (1987). Genuine memory deficits in dementia. *Developmental Neuropsychology, 3*(1), 13–36.
- Gullberg, M., & Holmqvist, K. (2006). What speakers do and what addressees look at: Visual attention to gestures in human interaction live and on video. *Pragmatics & Cognition, 14*(1), 53–82.
- Harrigan, J., Rosenthal, R., & Scherer, K. R. (2005). *New Handbook of Methods in Nonverbal Behavior Research*. Oxford, Oxford University Press.
- Holmes, C., Knights, A., Dean, C., Hodkinson, S., & Hopkins, V. (2006). Keep music live: Music and the alleviation of apathy in dementia subjects. *International Psychogeriatrics, 18*(4), 623–630.
- Hove, M. J., & Risen, J. L. (2009). It's All in the Timing: Interpersonal Synchrony Increases Affiliation. *Social Cognition, 27*(6), 949–960.
- Hsu, M. H., Flowerdew, R., Parker, M., Fachner, J., & Odell-Miller, H. (2015). Individual music therapy for managing neuropsychiatric symptoms for people with dementia and their carers: A cluster randomised controlled feasibility study. *BMC Geriatrics, 15*, 84.

- Jurica, P. J., Leitten, C. L., & Mattis, S. (2001). *Dementia rating Scale-2: DRS-2: Professional manual*. Psychological Assessment Resources.
- Kendon, A. (1967). Some functions of gaze-direction in social interaction. *Acta Psychologica*, 26, 22–63.
- Kirschner, S., & Tomasello, M. (2010). Joint music making promotes prosocial behavior in 4-year-old children. *Evolution and Human Behavior*, 31(5), 354–364.
- Knoblich, G., Butterfill, S., & Sebanz, N. (2011). Chapter three - Psychological Research on Joint Action: Theory and Data. In B. H. Ross (Ed.), *Psychology of Learning and Motivation* (pp. 59–101). Waltham, MA: Academic.
- Leman, M., Moelants, D., Varewyck, M., Styns, F., van Noorden, L., & Martens, J.-P. (2013). Activating and Relaxing Music Entrain the Speed of Beat Synchronized Walking. *PLOS ONE*, 8(7), e67932.
- Lesaffre, M., Moens, B., & Desmet, F. (2017). Monitoring music and movement interaction in people with dementia. In M. Lesaffre, P.-J. Maes, & M. Leman (Eds.), *The Routledge Companion to embodied music interaction* (pp. 294–303). New York: Routledge.
- Lesourd, M., Le Gall, D., Baumard, J., Croisile, B., Jarry, C., & Osiurak, F. (2013). Apraxia and Alzheimer's Disease: Review and Perspectives. *Neuropsychology Review*, 23(3), 234–256.
- Mahieux-Laurent, F., Fabre, C., Galbrun, E., Dubrulle, A., & Moroni, C. (2009). Validation d'une batterie brève d'évaluation des praxies gestuelles pour consultation Mémoire. Évaluation chez 419 témoins, 127 patients atteints de troubles cognitifs légers et 320 patients atteints d'une démence. *Revue Neurologique*, 165, 560-567.
- Manstead, A. S. R., Lea, M., & Goh, J. (2011). 7. Facing the future: Emotion communication and the presence of others in the age of video-mediated communication. In A. Kappas & N. C. Krämer (Eds), *Face-to-face communication over the Internet: Emotions in a web of culture, language, and technology*, (pp. 144-175). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Mehrabian, A. (1972). *Nonverbal Communication*. New York: Routledge.
- Mograbi, D. C., & Morris, R. G. (2014). On the relation among mood, apathy, and anosognosia in Alzheimer's disease. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, 20(1), 2–7.
- Mulac, A., Studley, L. B., Wiemann, J. M., & Bradac, J. J. (1987). Male/Female Gaze in Same-Sex and Mixed-Sex Dyads Gender-Linked Differences and Mutual Influence. *Human Communication Research*, 13(3), 323–343.
- Narme, P., Clément, S., Ehrlé, N., Schiaratura, L., Vachez, S., Courtaigne, B., ... Samson, S. (2014). Efficacy of Musical Interventions in Dementia: Evidence from a Randomized Controlled Trial. *Journal of Alzheimer's Disease*, 38(2), 359–369.
- Perry, R. J., & Hodges, J. R. (1999). Attention and executive deficits in Alzheimer's disease: A critical review. *Brain*, 122(3), 383–404.
- Philippot, P., & Douilliez, C. (2011). Impact of social anxiety on the processing of emotional information in video-mediated interaction In A. Kappas & N. C. Krämer (Eds), *Face-to-face communication over the Internet: Emotions in a web of culture, language, and technology*, (pp. 127-143). Cambridge, MA: Cambridge University Press.

- Raglio, A., Bellelli, G., Traficante, D., Gianotti, M., Ubezio, M. C., Gentile, S., ... Trabucchi, M. (2010). Efficacy of music therapy treatment based on cycles of sessions: A randomised controlled trial. *Aging & Mental Health, 14*(8), 900–904.
- Raglio, Alfredo, Bellelli, G., Traficante, D., Gianotti, M., Ubezio, M. C., Villani, D., & Trabucchi, M. (2008). Efficacy of Music Therapy in the Treatment of Behavioral and Psychiatric Symptoms of Dementia. *Alzheimer Disease & Associated Disorders, 22*(2), 158.
- Reitan, R. M. (1958). Validity of the Trail Making Test as an Indicator of Organic Brain Damage. *Perceptual and Motor Skills, 8*(3), 271–276.
- Rousseaux, M., Sève, A., Vallet, M., Pasquier, F., & Mackowiak-Cordoliani, M. A. (2010). An analysis of communication in conversation in patients with dementia. *Neuropsychologia, 48*(13), 3884–3890.
- Sakamoto, M., Ando, H., & Tsutou, A. (2013). Comparing the effects of different individualized music interventions for elderly individuals with severe dementia. *International Psychogeriatrics, 25*(5), 775–784.
- Särkämö, T., Tervaniemi, M., Laitinen, S., Numminen, A., Kurki, M., Johnson, J. K., & Rantanen, P. (2014). Cognitive, Emotional, and Social Benefits of Regular Musical Activities in Early Dementia: Randomized Controlled Study. *The Gerontologist, 54*(4), 634–650.
- Schiaratura, L. T. (2008). Non-verbal communication in Alzheimer's disease. *Psychologie & NeuroPsychiatrie Du Vieillessement, 6*(3), 183–188.
- Schiaratura, L. T., Pastena, A. D., Askevis-Leherpeux, F., & Clément, S. (2015). Verbal and gestural communication in interpersonal interaction with Alzheimer's disease patients. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie Du Vieillessement, 13*(1), 97–105.
- Sheridan, P. L., Solomont, J., Kowall, N., & Hausdorff, J. M. (2003). Influence of Executive Function on Locomotor Function: Divided Attention Increases Gait Variability in Alzheimer's Disease. *Journal of the American Geriatrics Society, 51*(11), 1633–1637.
- Sherratt, K., Thornton, A., & Hatton, C. (2004). Emotional and behavioural responses to music in people with dementia: An observational study. *Aging & Mental Health, 8*(3), 233–241.
- Sisco, F., Taurel, M., Lafont, V., Bertogliati, C., Baudu, C., Giordana, J.-Y., ... ROBERT, P. (2000). Les troubles du comportement chez le sujet dément en institution: Évaluation à partir de l'inventaire neuropsychiatrique pour les équipes soignantes (NPI/ES). *L'Année Gériatologique, 14*, 151–171.
- Spielberger, C. D. (1983). Manual for the State-Trait Anxiety Inventory STAI. Palo Alto, CA: Mind Garden.
- Starkstein, S. E., Jorge, R., Mizrahi, R., & Robinson, R. G. (2005). The Construct of Minor and Major Depression in Alzheimer's Disease. *American Journal of Psychiatry, 162*(11), 2086–2093.
- Stupacher, J., Maes, P.-J., Witte, M., & Wood, G. (2017). Music strengthens prosocial effects of interpersonal synchronization – If you move in time with the beat. *Journal of Experimental Social Psychology, 72*, 39–44.

- Stupacher, J., Wood, G., & Witte, M. (2017). Synchrony and sympathy: Social entrainment with music compared to a metronome. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, 27(3), 158–166.
- Styns, F., van Noorden, L., Moelants, D., & Leman, M. (2007). Walking on music. *Human Movement Science*, 26(5), 769–785.
- Sung, H., Lee, W., Li, T., & Watson, R. (2012). A group music intervention using percussion instruments with familiar music to reduce anxiety and agitation of institutionalized older adults with dementia. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 27(6), 621–627.
- Thomas, P., Chantoin-Merlet, S., Hazif-Thomas, C., Belmin, J., Montagne, B., Clément, J.-P., ... Billon, R. (2002). Complaints of informal caregivers providing home care for dementia patients: The Pixel study. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 17(11), 1034–1047.
- Troyer, A. K., Leach, L., & Strauss, E. (2006). Aging and Response Inhibition: Normative Data for the Victoria Stroop Test. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 13(1), 20–35.
- Vicaria, I. M., & Dickens, L. (2016). Meta-Analyses of the Intra- and Interpersonal Outcomes of Interpersonal Coordination. *Journal of Nonverbal Behavior*, 40(4), 335–361.

Annexe 1 : Comparaisons des scores aux questionnaires et aux tests cognitifs entre les groupes (MA et Contrôle)

Fonction évaluée	Test utilisé	MA (N = 48)	Contrôles (N = 49)	p
Humeur	STAI (/40)	29.4 ± 10.8	33.2 ± 12.3	.08
	Spielberger, 1983	(N = 48)	(N = 49)	
Troubles comportementaux	NPI (/144)	9.8 ± 9.6	9.0 ± 11.3	.58
	Sisco et al., 2000	(N = 28)	(N = 11)	
Détresse des aidants	Mini-Zarit (/7)	2.5 ± 1.6	1.4 ± 1.4	.13
	Bédard et al., 2001	(N = 27)	(N = 7)	
Efficience cognitive globale	MDRS Total (/144)	117.7 ± 6.6	137.8 ± 4.8	< .001
	Jurica, Leitten, & Mattis, 2001	(N = 38)	(N = 17)	
Mémoire de travail	Empan à l'endroit WAIS-III	5.6 ± 1.2	5.2 ± 1.2	.19
	Grégoire, 2004	(N = 38)	(N = 17)	
	Empan à l'envers WAIS-III	3.2 ± .7	3.8 ± .7	.01
	Grégoire, 2004	(N = 38)	(N = 17)	
Mémoire épisodique verbale	RL-RI 16 rappel libre différé (/16)	2.0 ± 2.3	8.2 ± 3.4	< .001
	Grober & Buschke, 1987	(N = 28)	(N = 17)	
	RL-RI 16 rappel libre total (/16)	9.2 ± 4.1	15.6 ± .9	
Grober & Buschke, 1987	(N = 29)	(N = 17)		
	MDRS Mémoire (/25)	15.1 ± 3.6	23.5 ± 1.9	< .001
	Jurica, Leitten, & Mattis, 2001	(N = 38)	(N = 17)	
Attention et vitesse de traitement	TMT (Partie A) Temps (s)	100.4 ± 43.9	66.3 ± 22.6	.002
	Reitan, 1958	(N = 32)	(N = 17)	
	MDRS Attention (/37)	34.5 ± 1.9	36.1 ± 1.0	.001
	Jurica, Leitten, & Mattis, 2001	(N = 38)	(N = 17)	
Stroop (Dénomination) Temps (s)	22.5 ± 13.4	16.1 ± 4.1	.001	
Bayard et al., 2009	(N = 34)	(N = 16)		
	Stroop (Lecture) Temps (s)	34.5 ± 11.1	24.4 ± 8.3	< .001
Bayard et al., 2009	(N = 33)	(N = 16)		
Fonctions exécutives (flexibilité et inhibition)	TMT (Partie B) Temps (s)	268.1 ± 85.4	204.5 ± 88.9	.02
	Reitan, 1958	(N = 34)	(N = 17)	
	TMT ratio (B – A)	169.0 ± 78.7	138.2 ± 76.8	.19
	Reitan, 1958	(N = 34)	(N = 17)	
	Stroop (Interférence) Temps (s) Bayard et al., 2009	55.5 ± 22.4	41.7 ± 17.8	.008
		(N = 33)	(N = 16)	

	Stroop (Interférence – Dénomination) Troyer, Leach, & Strauss, 2006	35.2 ± 23.0 (N = 33)	25.6 ± 15.8 (N = 16)	.14
Langage	Fluences catégorielles (/28) Jurica, Leitten, & Mattis, 2001	18.3 ± 3.9 (N = 37)	25.1 ± 3.4 (N = 16)	< .001
	MDRS Conceptualisation (/39) Jurica, Leitten, & Mattis, 2001	35.9 ± 2.3 (N = 38)	38.3 ± 1.5 (N = 17)	< .001
Capacités visuo- spatiales	MDRS Construction (/6) Jurica, Leitten, & Mattis, 2001	5.8 ± .5 (N = 38)	6.0 ± 0 (N = 17)	.09
	Praxies gestuelles (/5) Mahieux-Laurent, Fabre, Galbrun, Dubrulle, & Moroni, 2009	3.4 ± 1.4 (N = 38)	4.4 ± .8 (N = 17)	.01
Orientation	Orientation temporelle (/5) Folstein, Folstein, & McHugh, 1975	3.2 ± 1.4 (N = 38)	4.8 ± .4 (N = 17)	< .001
	Orientation spatiale (/5) Folstein, Folstein, & McHugh, 1975	4.4 ± .8 (N = 38)	5.0 ± 0 (N = 17)	.002

Annexe 2 : Photographies comme support à l'interaction sociale dans les entretiens





Annexe 3 : Description et scores des évaluations subjectives par groupe

Après le second entretien, il était demandé au participant s'il avait reconnu la chanson et s'il pouvait rappeler le titre de la chanson en utilisant une échelle sur trois points (*pas familier* = 0, *familier* mais ne pouvait pas nommer la chanson ou la chanter = 1, *reconnaissance* en nommant ou en chantant = 2) ainsi que s'il avait préféré la condition en présence physique ou pré-enregistrée du chanteur en utilisant une échelle sur trois points (préférence des conditions sociales : *pas de préférence* = 0, *enregistrement audio-visuel* = 1, *présence physique du chanteur* = 2) et s'il jugeait que sa performance de synchronisation était meilleure dans l'une ou l'autre des conditions en utilisant une échelle sur trois points (meilleure performance : *pas de différence* = 0, *enregistrement audio-visuel* = 1, *présence physique du chanteur* = 2). Enfin, une évaluation subjective était effectuée par le chanteur sur la performance de synchronisation du participant dans les conditions en présence physique avec métronome et avec musique sur une échelle à quatre points (synchronisation satisfaisante : *pas du tout* = 0, *un peu* = 1, *modérément* = 2, *très satisfaisante* = 3) et sur le contact visuel dans les conditions en présence physique avec métronome et avec musique sur une échelle à quatre points (contact : *pas du tout* = 0, *un peu* = 1, *modérément* = 2, *beaucoup* = 3).

Table 7. Fréquence des réponses obtenues aux évaluations subjectives relatives à la présence du chanteur par les participants

	MA (N = 33)			Contrôle (N = 35)		
	0	1	2	0	1	2
Reconnaissance^a	7	0	26	1	1	33
Préférence^b	14	6	13	15	1	19
Performance SMS^c	31	0	2	27	3	5

^a Reconnaissance et familiarité de la chanson : *pas familier* = 0, *familier* (ne peut pas rappeler le nom ou chanter partiellement la mélodie de la chanson) = 1, *reconnaissance* (rappeler le nom ou chanter partiellement la mélodie de la chanson) = 2

^b Préférence : entre la présence physique du chanteur et l'enregistrement AV : *pas de préférence* = 0, *enregistrement AV* = 1, *présence physique du chanteur* = 2.

^c Meilleure performance de synchronisation sensorimotrice (SMS) : *pas de différence entre les conditions* = 0, *enregistrement AV* = 1, *présence physique du chanteur* = 2.

Table 8. Fréquence des réponses obtenues aux évaluations subjectives relatives aux performances de synchronisation et au contact visuel des participants par le chanteur.

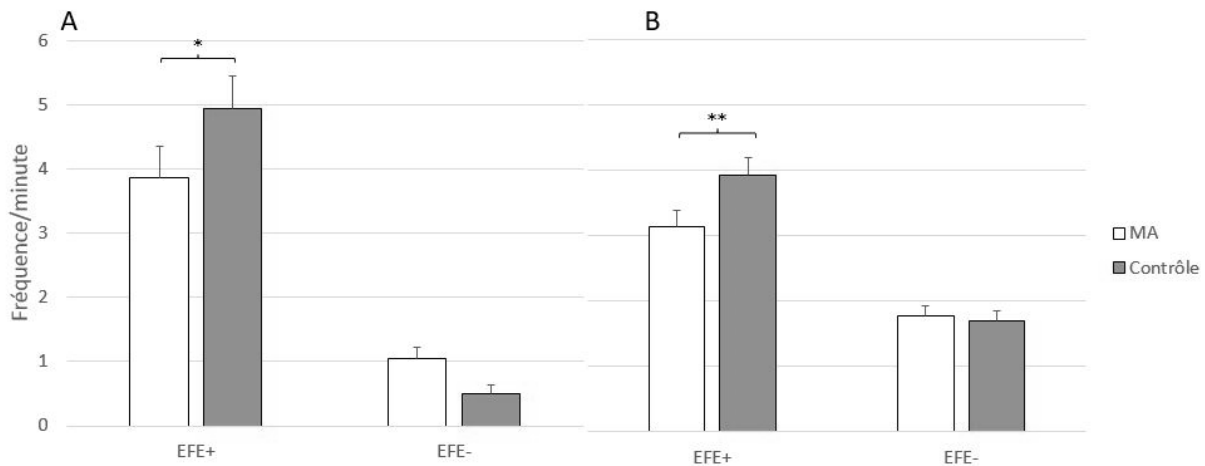
	MA (N = 33)				Contrôle (N = 35)			
	Métronomie		Musique		Métronomie		Musique	
	0	1	0	1	0	1	0	1
Performance SMS^a	1	30	2	31	0	31	0	35
Contact visuel^b	15	18	12	21	12	23	10	25

^a Performance de synchronisation sensorimotrice (SMS) : *faible performance* = 0, *performance élevée* = 1.

^b Contact visuel : *faible contact visuel* = 0, *contact visuel élevé* = 1.

Annexe 4 : Comparaison de l'interaction des facteurs Groupe x Valence sur la fréquence des EFE en musique (A) et dans les entretiens (B)

La production spontanée des EFE (en fréquence/min) obtenue pour chaque condition auprès de personnes atteintes de la MA ou de maladies apparentées est rapportée à la **Table 9**.



Une MANOVA à mesures répétées 2 (Activité) x 2 (Valence) avec le Groupe (groupe MA et groupe contrôle) comme facteur inter-sujet réalisée sur les EFE (fréq/min) a révélé une interaction significative entre les facteurs Valence x Activité ($F(1, 95) = 29.84, p < .001, \eta p^2 = .24$). Comme l'illustre la **Figure 5**, les tests post hoc de Fisher ont mis en évidence que la fréquence par minute des EFE+ était plus élevée dans la tâche de synchronisation au rythme de la musique que dans les entretiens ($p < .001$). Cependant, les comparaisons *post hoc* ont révélé

également que la fréquence des EFE- était moins élevée dans la condition musique que dans les entretiens ($p < .001$).

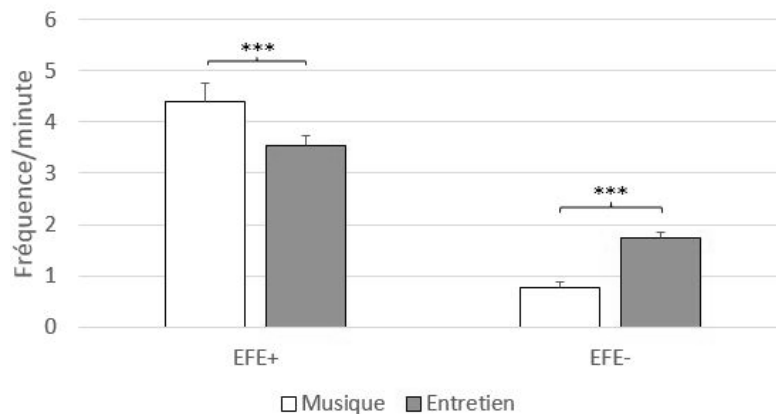


Figure 5. Fréquence moyenne par minute des expressions faciales émotionnelles positives (EFE+) et négatives (EFE-) dans la tâche de synchronisation au rythme de la musique en action conjointe et dans les entretiens. Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards. *** ($p < .001$)

L'analyse de la variance a également mis en évidence une interaction significative entre les facteurs Groupe x Valence ($F(1, 95) = 6.03, p = .016, \eta^2 = .06$). Les comparaisons *post hoc* ont mis en évidence que la fréquence des EFE+ était moins élevée dans le groupe MA que dans le groupe contrôle ($p = .009$) mais pas pour la fréquence des EFE-.

Un effet du facteur Valence a également été trouvé ($F(1, 95) = 114.87, p < .001, \eta^2 = .55$) montrant que la fréquence des EFE+ était plus élevée que la fréquence des EFE- à travers les conditions musicales et les entretiens.

Ces résultats montrent que la tâche de synchronisation au rythme de la musique en action conjointe entraîne plus de réponses affectives positives et moins de réponses émotionnelles négatives qu'une interaction sociale sans musique. Ceci met donc en évidence que la qualité de la relation sociale (via les EFE) semble meilleure dans une activité musicale que dans une interaction sociale sans musique. Néanmoins, il est à noter que des personnes différentes accompagnaient les participants dans les deux activités (chanteur et psychologue). Par conséquent, une comparaison entre les deux activités devrait être réalisée avec une même personne afin de confirmer l'impact de la musique sur les EFE par comparaison à l'interaction sociale sans musique.

Table 9. Comportements non verbaux (en fréq/min ou pourcentage de durée) produits en réponse à la musique en présence pré-enregistrée et physique du chanteur et dans les entretiens PRE et POST activité en fonction du groupe (Groupe MA et groupe Contrôle), ($M \pm SE$).

Conditions	Comportements liés à la relation sociale		
	EFE+	EFE-	Reg partenaire
<i>MA (musique)</i>			
Pré-enregistrée	3.64 ± .49	.98 ± .20	.51 ± .05
Physique	4.09 ± .56	1.12 ± .23	.43 ± .05
<i>Contrôle (musique)</i>			
Pré-enregistrée	4.29 ± .48	.43 ± .15	.58 ± .04
Physique	5.60 ± .61	.59 ± .16	.42 ± .05
<i>MA (entretien)</i>			
PRE	3.14 ± .26	1.86 ± .20	.51 ± .03
POST	3.16 ± .26	1.69 ± .15	.50 ± .03
<i>Contrôle (entretien)</i>			
PRE	4.08 ± .27	1.60 ± .16	.45 ± .03
POST	3.78 ± .29	1.78 ± .19	.44 ± .03

Chapitre 8 : Comparaison de l'étude 1 et de l'étude 2

Objectifs et Analyse

Etant donné que dans l'**étude 2 (chapitre 6)**, nous n'avons pas obtenu de différence au niveau des performances de synchronisation entre des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer (MA) et des participants avec un vieillissement physiologique 'normal', nous avons comparé ces performances entre les participants atteints de la MA de l'étude 1 et de l'étude 2.

Les participants de l'**étude 1** vivaient dans une maison de repos et de soins et avaient un diagnostic de maladie d'Alzheimer ou de maladies apparentées à des stades modérés à avancés (groupe 'maison de repos'). Dans l'**étude 2**, les participants vivaient à leur domicile et étaient atteints d'une maladie d'Alzheimer ou de maladies apparentées à des stades modérés (groupe 'domicile'). De plus, les participants de l'étude 1 étaient plus âgés et présentaient un déclin cognitif vraisemblablement plus important que ceux de l'étude 2 (étude 1 : 89 ans et MMSE de 17/30, étude 2 : 83 ans et MMSE de 20/30). Dans ce chapitre, nous comparons les résultats des personnes atteintes de la MA ou de maladies apparentées obtenus dans les études 1 et 2 afin de (1) vérifier la sensibilité de la tâche de synchronisation dans cette population et (2) d'observer comment les différents comportements moteurs et non verbaux examinés dans ces études sont affectées par la maladie d'Alzheimer. La comparaison des performances de synchronisation entre ces deux groupes permet ainsi de vérifier si la performance des participants de l'étude 1 pouvait être déficitaire par rapport à ceux de l'étude 2 appariés en termes cognitif, d'âge et de proportion d'hommes et de femmes. En effet, le fait de vivre en maison de repos et la perte d'autonomie qui en découle pourrait moduler les performances de synchronisation mais aussi les comportements moteurs et non verbaux observés au cours de l'activité de synchronisation.

Le placement en maison de repos est en effet souvent associé à une sévérité plus importante de la maladie (Smith et al., 2000; Toot, Swinson, Devine, Challis, & Orrell, 2017) incluant notamment un déclin des fonctions instrumentales et motrices (Yan, Rountree, Massman, Doody, & Li, 2008; de Paula et al., 2016) et une augmentation des troubles de l'humeur (Yaffe et al., 2002; Cerejeira, Lagarto, & Mukaetova-Ladinska, 2012). Bien que le score de MMSE ne diffère pas entre les groupes dans cette comparaison, l'impact de la maladie à ce niveau chez les personnes vivant en maison de repos pourrait entraîner une possible différence des réponses comportementales entre les deux groupes.

Nous avons donc comparé (1) les performances de synchronisation (constance et asynchronies signées), (2) la QOM, (3) la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle (EFE+ et EFE-) ainsi que (4) la production spontanée de mouvements rythmiques (tête et lèvres) entre les participants atteints de la maladie d'Alzheimer de l'étude 1 et de l'étude 2 appariés en termes de MMSE, d'âge et de genre. Bien évidemment, seules les données obtenues dans des conditions comparables ont été incluses dans ces analyses. Pour cela, nous avons examiné uniquement les comportements obtenus dans les conditions de synchronisation aux beats du métronome (tempo de 800 ms) et au rythme de la musique (tempo de 800 ms en métrique ternaire), réalisée conjointement avec une/un chanteuse/chanteur en présence physique et pré-enregistrée. L'analyse des performances de synchronisation et de la quantité de mouvements porte sur les conditions métronomiques et musicales alors que l'analyse des comportements non verbaux repose uniquement sur les conditions musicales. Il faut toutefois noter que la chanson diffère entre les études, puisque les participants ont été évalués dans des pays différents (Belgique flamande pour l'étude 1 et France pour l'étude 2). Cependant, les extraits musicaux comparés présentaient les mêmes caractéristiques temporelles (tempo de 800 ms en métrique ternaire). Selon nos prédictions, le groupe « domicile » devrait présenter de meilleures performances de synchronisation (constance plus élevée et asynchronie plus réduite) et produire plus de comportements non verbaux (liés à la relation sociale et émotionnelle et aux mouvements rythmiques) que le groupe « maison de repos ».

Participants

Deux groupes de participants ont été constitués. Un groupe de 19 participants de l'étude 1 vivant en maison de repos (groupe MA « maison de repos ») et un groupe de 27 participants de l'étude 2 vivant encore au domicile (groupe MA « domicile »). Comme indiqué à la **Table 1**, les deux groupes ne diffèrent pas en termes de MMSE, d'âge et de genre.

Table 1. Caractéristiques des groupes (moyennes \pm écarts-types)

	MA maison de repos ($N = 19$)	MA domicile ($N = 27$)	<i>p</i>
MMSE (/30)	17.6 \pm 4.9	19.7 \pm 3.6	.10 ^a
Age	87.3 \pm 3.8	86.3 \pm 3.3	.17 ^b
Genre (homme/femme)	3/16	2/25	.37 ^c

^a Mann-Whitney U Wilcoxon test^b t-test^c Chi-carré test

Matériel et Méthode

Le matériel et la méthode ont déjà été décrits dans les études 1 et 2. Dans cette comparaison, seules les conditions de synchronisation aux beats du métronome (tempo de 800 ms) et au rythme de la musique (tempo de 800 ms en métrique ternaire) ont été incluses. La tâche est dans les deux cas réalisée en action conjointe avec une/un chanteuse/chanteur en présence physique et pré-enregistrée.

L'analyse des performances de synchronisation et de la quantité de mouvements porte sur les conditions métronomiques et musicales alors que l'analyse des comportements non verbaux repose uniquement sur les conditions musicales.

Résultats et discussion

1. Tâche de synchronisation

La moyenne des scores de la constance (longueur du vecteur transformée) et des asynchronies signées (en ms) ainsi que ceux de la QOM (mV) obtenus pour chaque condition auprès des participants du groupe « maison de repos » et « domicile » est présentée à la **Table 2**.

Table 2. Constance de la synchronisation (longueur du vecteur transformée), asynchronies signées (en millisecondes, ms) et quantité de mouvements (QOM en millivolts, mV) des participants par groupe (maison de repos et domicile) en réponse au métronome et à la musique en présence physique et pré-enregistrée du chanteur, (M ± SE).

Mesures	Conditions		Maison de repos (N = 19)	Domicile (N = 27)
Constance (longueur du vecteur)	Métronome	Physique	.93 ± .29	1.30 ± .11
		Pré-enregistrée	1.53 ± .27	1.91 ± .22
	Musique	Physique	.60 ± .17	1.27 ± .17
		Pré-enregistrée	1.93 ± .37	1.09 ± .13
Asynchronies signées (ms)	Métronome	Physique	-41.41 ± 18.46	-10.15 ± 14.66
		Pré-enregistrée	-69.82 ± 14.04	-69.56 ± 16.25
	Musique	Physique	42.56 ± 16.49	48.15 ± 16.03
		Pré-enregistrée	-98.24 ± 24.10	54.96 ± 15.21
QOM (mV)	Métronome	Physique	.72 ± .12	.72 ± .06
		Pré-enregistrée	.75 ± .10	.79 ± .07
	Musique	Physique	.75 ± .13	.76 ± .06
		Pré-enregistrée	.75 ± .11	.81 ± .08

Constance de la synchronisation

Une MANOVA à trois facteurs avec deux mesures répétées 2 (Présence) x 2 (Auditif) a été réalisée sur la constance de la SMS obtenue par les participants du groupe maison de repos et du groupe domicile. Les résultats ont mis en évidence une interaction significative entre les facteurs Groupe x Présence x Auditif ($F(1, 44) = 13.662, p < .001, \eta p^2 = .24$). Par conséquent, l'interaction de ces trois facteurs a été décomposée en une analyse des facteurs 2 (Groupe) x 2 (Présence) en fonction du métronome et de la musique de manière séparée.

Pour le métronome, l'analyse n'a pas révélé d'interaction significative (**Figure 1A**) mais un effet du facteur Présence a été trouvé ($F(1, 44) = 17.544, p < .001, \eta p^2 = .29$) révélant que la synchronisation était plus constante dans la condition présence pré-enregistrée ($M = 1.75 \pm 0.17$) que dans la condition présence physique du chanteur ($M = 1.14 \pm 0.14$). Les autres effets et interactions n'étaient pas significatifs.

En revanche, pour la musique, la MANOVA a mis en évidence une interaction significative entre les facteurs Groupe et Présence sur la constance ($F(1, 44) = 25.848, p < .001, \eta p^2 = .37$). Comme le montrent les tests *post hoc* Fisher, la SMS était plus constante pour le groupe maison de repos que pour le groupe domicile dans la condition présence pré-enregistrée ($p = .007$) alors que la SMS était plus constante pour le groupe domicile que pour le groupe maison de repos dans la condition présence physique du chanteur ($p = .030$, **Figure 1B**). Un effet significatif du facteur Présence a aussi été obtenu ($F(1, 44) = 14.927, p < .001, \eta p^2 = .25$) révélant que la synchronisation était plus constante dans la condition présence pré-enregistrée ($M = 1.44 \pm 0.18$) que dans la condition présence physique du chanteur ($M = 1.00 \pm 0.13$). Les autres effets et interactions n'étaient pas significatifs.

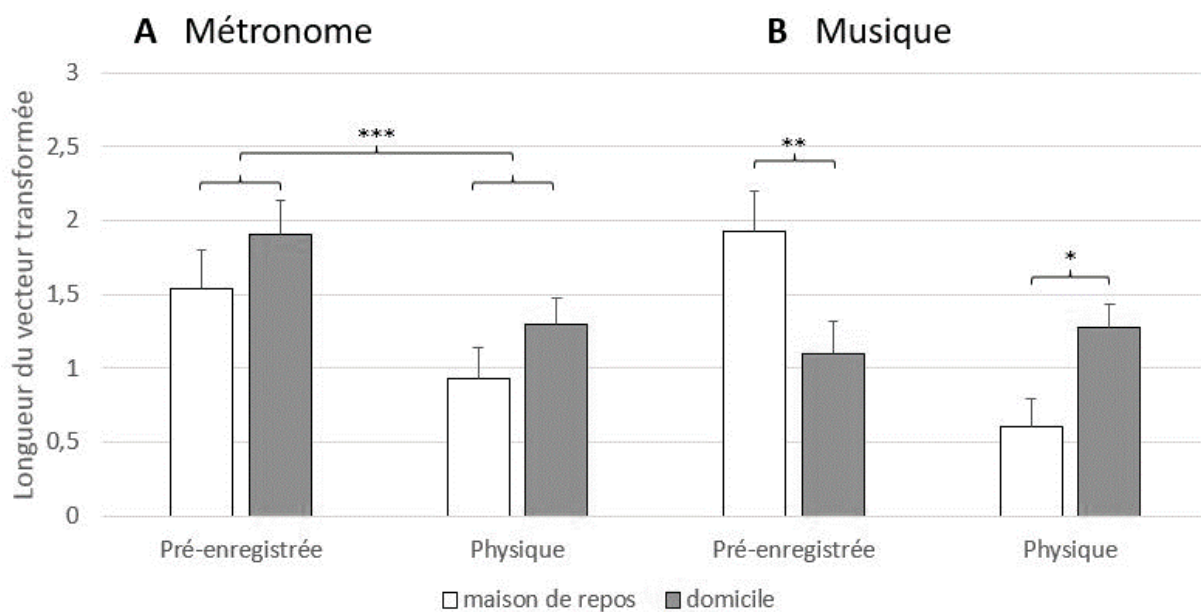


Figure 1. Constance moyenne de la synchronisation (longueur du vecteur transformée) des participants de chaque groupe (maison de repos et domicile) en réponse au métronome (**partie A**) et à la musique (**partie B**) en fonction de la Présence (physique et pré-enregistrée) du chanteur. Plus la valeur est élevée, plus la synchronisation est régulière. Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards. *** ($p < .001$), ** ($p < .01$), * ($p < .05$)

Asynchronies signées

Une MANOVA à trois facteurs avec mesures répétées 2 (Présence) x 2 (Auditif) a été réalisée sur les asynchronies signées (en ms) obtenues par les participants du groupe maison de repos et du groupe domicile. Les résultats ont mis en évidence une interaction significative entre les facteurs Groupe x Présence x Auditif ($F(1, 44) = 24.956, p < .001, \eta p^2 = .36$). Par conséquent,

l'interaction de ces trois facteurs a été décomposée en une analyse des facteurs 2 (Groupe) x 2 (Présence) en fonction du métronome et de la musique de manière séparée.

Pour le métronome, l'analyse n'a pas révélé d'interaction significative (**Figure 2A**) mais un effet du facteur Présence a été trouvé ($F(1, 44) = 12.849, p < .001, \eta p^2 = .23$) révélant que l'asynchronie moyenne négative était plus importante dans la condition présence pré-enregistrée ($M = -69.66 \pm 11.05$) que dans la condition présence physique du chanteur ($M = -23.06 \pm 11.05$). Les autres effets et interactions n'étaient pas significatifs.

Pour la musique (**Figure 2B**), la MANOVA a mis en évidence une interaction significative entre les facteurs Groupe et Présence sur les asynchronies signées ($F(1, 44) = 27.171, p < .001, \eta p^2 = .38$). Les comparaisons *post hoc* de Fisher ont révélé que l'asynchronie moyenne négative était plus importante dans la condition présence pré-enregistrée pour le groupe maison de repos que pour le groupe domicile ($p < .001$) alors qu'aucune différence n'a été observée entre les groupes dans la condition présence physique du chanteur. Un effet significatif du facteur Groupe a été trouvé ($F(1, 44) = 14.136, p < .001, \eta p^2 = .24$) mettant en évidence que l'asynchronie moyenne négative était plus importante pour le groupe maison de repos ($M = -27.84 \pm 13.53$) que pour le groupe domicile ($M = 51.55 \pm 14.92$). Un effet significatif du facteur Présence a aussi été obtenu ($F(1, 44) = 22.385, p < .001, \eta p^2 = .34$) révélant que l'asynchronie moyenne négative était plus importante dans la condition présence pré-enregistrée ($M = -8.32 \pm 17.34$) que dans la condition présence physique du chanteur ($M = 45.84 \pm 11.50$).

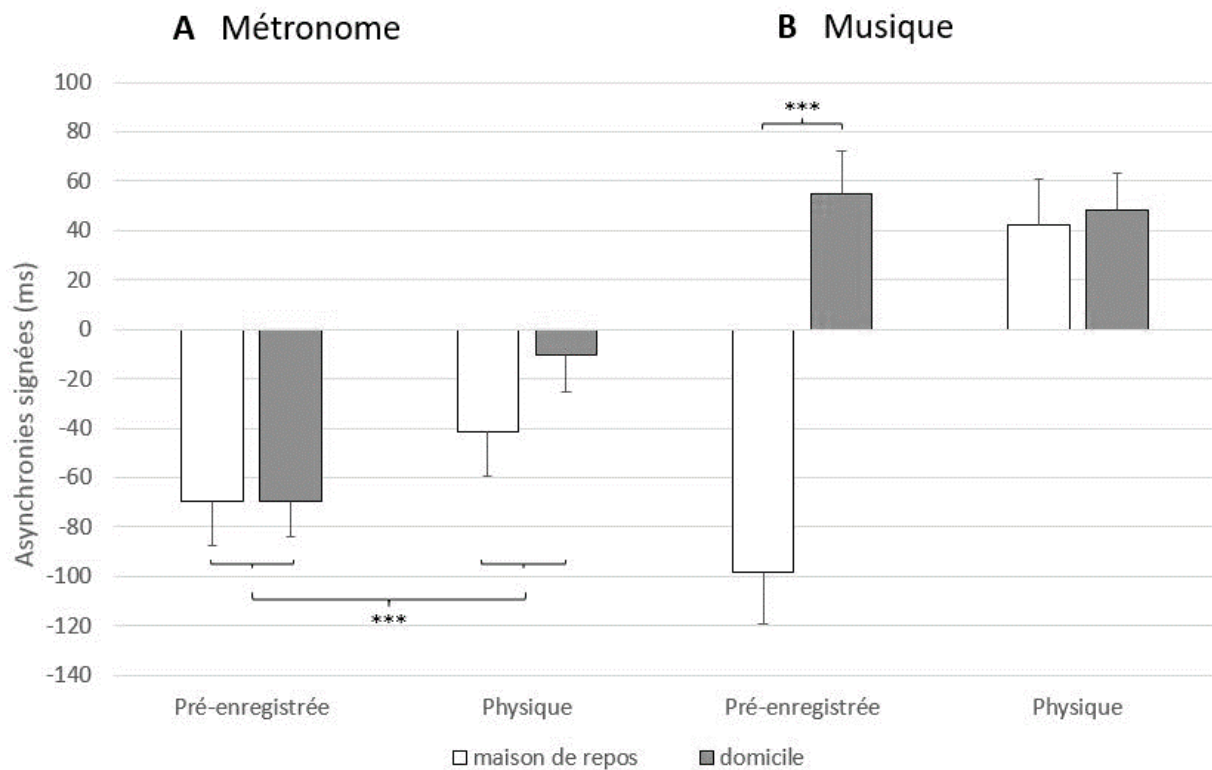


Figure 2. Asynchronies signées moyennes (en millisecondes) des participants de chaque groupe (maison de repos et domicile) en réponse au métronome (**partie 2A**) et à la musique (**partie 2B**) en fonction de la Présence (physique et pré-enregistrée) du chanteur. Une valeur négative indique que la tape précède le beat alors qu'une valeur positive correspond à une tape qui suit le beat. Plus le score est proche de 0, plus l'asynchronie est faible et la synchronisation précise. Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards. *** ($p < .001$)

Quantité de mouvements

Une MANOVA à trois facteurs avec mesures répétées 2 (Présence) x 2 (Auditif) a été réalisée sur la quantité de mouvements (QOM) obtenue par les participants du groupe maison de repos et du groupe domicile. Cependant, aucun résultat significatif n'a été trouvé.

Analyses corrélationnelles

Des tests de corrélations de Pearson ont permis d'analyser sur l'ensemble des participants le lien entre les mesures de SMS ou de QOM en réponse au métronome (moyenne des scores pour les conditions métronomiques) et à la musique (moyenne des scores pour les conditions musicales) avec le score MMSE et l'âge. Néanmoins, après application des corrections de Bonferroni, aucun résultat significatif n'a été obtenu.

Discussion

La comparaison des performances de synchronisation (constance et asynchronies signées) et de la quantité de mouvements (QOM) entre les participants atteints de la maladie d'Alzheimer ou de maladies apparentées des études 1 et 2 a permis de mettre en évidence l'influence de certaines différences entre les études sur les réponses comportementales des participants.

Les résultats de cette analyse ont montré que la présence du chanteur module différemment la performance de synchronisation entre les groupes dans les conditions musicales. En présence pré-enregistrée du chanteur, l'asynchronie moyenne négative était plus importante pour le groupe maison de repos que pour le groupe domicile. Cette différence pourrait être le signe d'un impact plus conséquent de la maladie sur la précision de la synchronisation chez les participants atteints de MA vivant en maison de repos que chez ceux vivant à domicile. En effet, le placement en maison de repos dans le cadre d'une maladie d'Alzheimer est souvent associé à l'aggravation des symptômes liés à la progression de la maladie. Les symptômes se traduisent notamment par une réduction des capacités instrumentales qui conduit à une perte de l'autonomie (Yan et al., 2008; de Paula et al., 2016). Bien que nos groupes soient appariés au niveau du score MMSE, il se peut que les fonctions instrumentales soient déficitaires et que ces difficultés aient affecté la précision de la synchronisation. Cette interprétation est appuyée par les résultats de Bangert et Balota (2012) qui ont d'ailleurs mis en évidence que la sévérité de la maladie réduit la précision de la synchronisation.

De manière surprenante, la constance de la SMS est plus élevée dans la condition musicale pré-enregistrée pour le groupe maison de repos que pour le groupe domicile. Ce résultat s'explique peut-être par le fait que les participants pouvaient être très concentrés sur leur propre tapping dans cette condition, ne portant pas attention à la présence pré-enregistrée de la chanteuse. Pour le groupe domicile, la diminution de la constance dans cette condition (par rapport au groupe maison de repos) laisse penser que les participants adaptaient leur tapping à celui du chanteur (**étude 2 chapitre 6**; Fairhurst et al., 2014). Une autre explication possible pourrait être liée à la constance du musicien, qui était peut-être plus élevée dans l'étude 1 que dans l'étude 2. Cette interprétation semble peu vraisemblable étant donné que dans les deux études, le score de constance du chanteur et de la chanteuse était très élevé. En revanche, en présence physique du chanteur, la constance était plus basse dans le groupe maison de repos que dans le groupe domicile. Il est possible que l'attention divisée entre le tapping au rythme des séquences auditives et la présence physique du chanteur ait un impact plus conséquent sur les participants

vivant en maison de repos que sur ceux vivant au domicile, réduisant davantage la constance de la synchronisation. De plus, cette différence pourrait être également induite par un impact plus important de la maladie sur la constance comme pour la précision de la synchronisation.

Il se peut que la présence physique du chanteur ait capté plus l'attention des participants du groupe maison de repos qu'un enregistrement audio-visuel (cf. **étude 1 chapitre 4**). La constance tout comme les asynchronies signées dans les conditions musicales ayant alors été impactées. Néanmoins, cet effet n'a pas été observé chez les participants du groupe domicile. Cette différence d'effet entre les deux groupes pourrait provenir tant de la sévérité de la maladie que du dispositif expérimental. Il est bien connu que la sévérité de la maladie a un impact sur les capacités attentionnelles et sur les aptitudes de contrôle exécutif ainsi que sur la mémoire de travail (Sheridan, Solomont, Kowall, & Hausdorff, 2003; Belleville, Chertkow, & Gauthier, 2007). De telles modifications pourraient avoir influencé les performances de synchronisation du groupe maison de repos (Bailey & Penhune, 2010, 2012; Bangert & Balota, 2012; Pecenka, Engel, & Keller, 2013; Colley, Keller, & Halpern, 2018). Même si nos groupes sont appariés au niveau du score du MMSE, cela n'exclut pas qu'ils se distinguent au niveau des fonctions attentionnelles et exécutives ainsi que sur la mémoire de travail étant donné que l'appariement a été réalisé sur le score total du MMSE. Cependant, l'absence d'évaluation de ces fonctions chez les participants du groupe maison de repos ne permet pas de réaliser cette comparaison.

La différence de qualité de l'enregistrement audio-visuel entre les deux études pourrait aussi avoir contribué aux différences entre les études lors de la synchronisation à la musique. La qualité de l'enregistrement audio-visuel et de son support était meilleure dans l'étude 2 que dans l'étude 1. En effet, bien que la taille de la projection était relativement similaire, un grand écran de télévision à haute définition de 70'' (158 cm x 92 cm) a été utilisé dans l'étude 2 alors que l'enregistrement a été projeté sur un écran classique (panneau de 165 cm x 125 cm) de moins bonne qualité dans l'étude 1. Précédemment, il a été montré que des participants qui regardaient une vidéo sur une télévision à haute définition et sur une télévision standard rapportaient une impression d'immersion et de présence sociale plus élevée en regardant une télévision à haute définition qu'une télévision standard (Bracken, 2005). La meilleure qualité de l'enregistrement audio-visuel dans l'étude 2 pourrait ainsi avoir attiré plus efficacement l'attention des participants du groupe domicile vers le chanteur alors que l'attention des participants du groupe maison de repos se porterait davantage sur la chanteuse en présence physique. Par conséquent, l'amélioration de la qualité de l'enregistrement audio-visuel dans

l'étude 2 a peut-être contribué à réduire la différence entre la présence physique et la présence pré-enregistrée pour le groupe domicile durant la tâche de synchronisation à la musique.

Dans les deux études, les participants étaient assis alors que la chanteuse était debout dans l'étude 1 et le chanteur était assis dans l'étude 2. Ainsi, en plus de l'influence du matériel utilisé, le rôle de *leader* associé à la position debout de la chanteuse dans l'étude 1 pourrait avoir eu une influence plus importante sur la performance de synchronisation que la position assise du chanteur dans l'étude 2. Selon Mehrabian (1969), la posture et la position influencent les comportements dans une interaction sociale (Mehrabian, 1969; Schwartz, Tesser, & Powell, 1982; Hall, Coats, Pa, & Lebeau, 2005). Ces paramètres peuvent également avoir eu un impact sur la relation sociale notamment en termes de domination. Par exemple, si la chanteuse était debout alors que le participant était assis, cela a pu impliquer une relation de domination ou de contrôle sur le participant. Cette relation possible de domination entre le chanteur et le participant est fréquemment rencontrée dans les ensembles musicaux entre le chef d'orchestre et les musiciens (Keller, Novembre, & Hove, 2014). Cette relation correspond également à une relation *leader-follower* qui peut apparaître lors de la synchronisation interpersonnelle des mouvements au rythme de la musique (Keller, 2008). L'effet de cette relation leader-follower sur la synchronisation au rythme de séquences auditives ou sur la synchronisation interpersonnelle a d'ailleurs fait l'objet de plusieurs études (Keller, 2008; Goebel & Palmer, 2009; Loehr & Palmer, 2011; Fairhurst, Janata, & Keller, 2014; Demos, Carter, Wanderley, & Palmer, 2017). Une étude a notamment montré qu'un partenaire de synchronisation présenté comme un expérimentateur conduit le participant à augmenter sa performance de synchronisation par comparaison à une situation où le partenaire était présenté comme un autre participant à l'étude (Demos et al., 2017). Par conséquent, la position debout de la chanteuse dans l'étude 1 a certainement amplifié davantage le rôle de leader par comparaison à la position assise du chanteur dans l'étude 2. La différence de position à laquelle s'ajoute la différence de qualité de l'enregistrement audio-visuel explique certainement au moins en partie les différences de résultats entre les deux groupes. Ce rôle de leader plus marqué dans l'étude 1 que dans l'étude 2 pour la condition de présence physique pourrait avoir un effet plus important dans l'étude 1 sur les comportements des participants à des stades avancés de la MA, suivre le chanteur réduisant les ressources cognitives disponibles pour la prédiction temporelle (Fairhurst et al., 2014).

Aucune différence de performances de synchronisation dans les conditions métronomiques n'a cependant été observée entre les deux groupes. Ces résultats diffèrent donc de ceux obtenus

dans les conditions musicales. Cette différence de résultats entre les conditions métronomiques et musicales semble mettre en évidence que la musique favoriserait l'influence de la présence du chanteur sur les performances de synchronisation par comparaison au métronome montrant ainsi les capacités particulières de la musique pour induire les interactions sociales et parfois pour renforcer les liens sociaux (Stupacher, Maes, Witte, & Wood, 2017; Stupacher, Wood, & Witte, 2017).

Enfin, l'absence de différence de quantité de mouvements entre les groupes tant en réponse au métronome qu'à la musique démontre que la QOM n'est pas sensible aux différences qu'il pourrait y avoir entre ces groupes. Cependant, il est remarqué que les scores de QOM sont très bas dans les deux groupes, et que la différence entre les personnes ayant un vieillissement normal et pathologique était déjà présente dans l'étude 2, suggérant que le déclin cognitif dans la maladie d'Alzheimer serait lié à la QOM comme le montrent plusieurs études (Kluger, Gianutsos, Golomb, Ferris, & Reisberg, 1997; Hultsch, MacDonald, & Dixon, 2002; Buracchio, Dodge, Howieson, Wasserman, & Kaye, 2010; Rabinowitz & Lavner, 2014; Suzumura et al., 2016). Comme nos groupes étaient appariés en termes de déclin cognitif global (MMSE), la différence entre les groupes sur la QOM pourrait donc être limitée.

2. Comportements non verbaux

Les scores liés aux expressions faciales positives (EFE+) et négatives (EFE-) (fréquence/minute) ainsi que ceux liés aux mouvements rythmiques de la tête et des lèvres (pourcentage de durée) obtenus uniquement pour les conditions musicales auprès des participants du groupe maison de repos et domicile sont présentées à la **Table 3**.

Table 3. Comportements non verbaux (en fréq/min ou pourcentage de durée) produits par les participants par groupe (maison de repos et domicile) en réponse à la musique en présence physique et pré-enregistrée du chanteur, (M ± SE).

Comportements observés durant écoute musicale		Conditions	Maison de repos (N = 19)	Domicile (N = 27)
Comportements liés à la relation sociale et émotionnelle	EFE+	Physique	1.00 ± .34	3.95 ± .76
		Pré-enregistrée	.62 ± .15	3.88 ± .70
	EFE-	Physique	.45 ± .21	1.03 ± .31
		Pré-enregistrée	.31 ± .13	.67 ± .19
Comportements rythmiques	Mouvements de tête	Physique	.37 ± .09	.44 ± .06
		Pré-enregistrée	.34 ± .09	.44 ± .06
	Mouvements de lèvres	Physique	.53 ± .08	.27 ± .05
		Pré-enregistrée	.47 ± .07	.23 ± .05

EFE+ : expressions faciales émotionnelles positives (fréquence/minute) ; EFE- : expressions faciales émotionnelles négatives (fréquence/minute) ; Tête = production spontanée de mouvements rythmiques de la tête (pourcentage de durée) ; Lèvres = production spontanée de mouvements rythmiques des lèvres (pourcentage de durée)

Comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle

Expressions faciales émotionnelles

Une MANOVA à trois facteurs avec mesures répétées 2 (Valence) x 2 (Présence) a été réalisée sur les EFE (fréq/min) des participants du groupe maison de repos et du groupe domicile. Les résultats ont mis en évidence une interaction significative entre les facteurs Valence et Groupe ($F(1, 44) = 9.081, p = .004, \eta^2 = .17$). Les comparaisons *post hoc* de Fisher ont révélé que la fréquence des EFE+ était plus élevée pour le groupe domicile ($M = 3.91 \pm .66$) que pour le groupe maison de repos ($M = .81 \pm .23, p < .001$) alors qu'aucune différence n'a été observée pour la fréquence des EFE- entre les groupes (**Figure 3**).

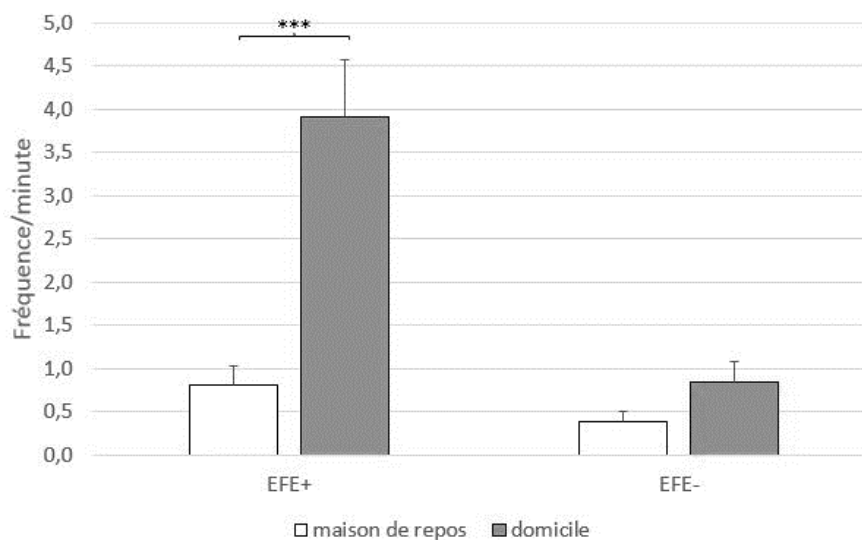


Figure 3. Fréquence moyenne par minute des expressions faciales positives (EFE+) et négatives (EFE-) des participants en réponse à la musique en fonction du groupe (maison de repos et domicile). Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards *** ($p < .001$)

Un effet significatif du facteur Groupe a été obtenu sur la fréquence des EFE (moyenne des EFE+ et EFE-, $F(1, 44) = 17.534, p < .001, \eta p^2 = .28$) montrant que la fréquence des EFE était plus élevée pour le groupe domicile ($M = 2.38 \pm .34$) que pour le groupe maison de repos ($M = .59 \pm .14$). Un effet significatif du facteur Valence a aussi été trouvé ($F(1, 44) = 15.971, p < .001, \eta p^2 = .27$) mettant en évidence que la fréquence des EFE+ ($M = 2.63 \pm .46$) était plus élevée que celle des EFE- ($M = .66 \pm .15$). Il n'y avait pas d'autre interaction significative, ni d'effet significatif du facteur Présence.

Production spontanée de comportements rythmiques liés à la musique

1. Mouvements rythmiques de la tête

Une MANOVA à deux facteurs avec mesures répétées 2 (Présence) a été réalisée sur la production spontanée de mouvements rythmiques de la tête (pourcentage de durée) des participants du groupe maison de repos et du groupe domicile. La MANOVA n'a pas montré de résultat significatif.

2. Mouvements rythmiques des lèvres

Une MANOVA à deux facteurs avec mesures répétées 2 (Présence) a été réalisée sur la production spontanée de mouvements rythmiques des lèvres (pourcentage de durée) des participants du groupe maison de repos et du groupe domicile. Les résultats ont mis en évidence

un effet du facteur Groupe ($F(1, 44) = 9.822, p = .003, \eta p^2 = .18$) montrant que la durée de mouvements rythmiques des lèvres était plus élevée pour le groupe maison de repos ($M = .50 \pm .07$) que pour le groupe domicile ($M = .25 \pm .05$). Aucune interaction significative, ni aucun autre effet n'a été trouvé.

Analyses corrélationnelles

Des tests de corrélations de Spearman ont permis d'analyser sur l'ensemble des participants le lien entre les EFE+, EFE-, les mouvements de tête et des lèvres en réponse à la musique (moyenne des scores pour les conditions musicales) avec le score MMSE et l'âge. Après application des corrections de Bonferroni, une corrélation significative a été trouvée entre les EFE+ et le score MMSE ($r(46) = .41, p = .005$) montrant que la fréquence des EFE+ diminue avec le score MMSE.

Discussion

L'importante différence de fréquence des EFE+ observée entre les groupes pourrait s'expliquer par l'impact plus prononcé de la maladie chez les participants du groupe maison de repos que du groupe domicile. Dans cette thèse (**étude 1 chapitre 5**) ainsi que dans une étude récente (Garrido et al., 2018), il avait été trouvé un lien entre la sévérité du déclin cognitif global (score MMSE) et la fréquence des EFE+ ou de comportements liés à un affect positif en réponse à la musique. Cependant, l'absence de différence entre les groupes au niveau du score MMSE dans cette analyse suggère que la réduction des EFE+ chez les participants du groupe maison de repos par comparaison à ceux du groupe domicile pourrait être liée à un déclin autre que cognitif comme celui de l'autonomie ou pourrait être liée à l'augmentation des troubles de l'humeur par exemple. La prévalence de troubles thymiques (particulièrement la dépression) semble plus élevée chez des résidents en maison de repos atteints de MA que chez des personnes atteintes de MA vivant à domicile (Djernes, 2006 ; Cerejeira et al., 2012). De plus, Garrido et al (2018) rapportent que la sévérité de la dépression module la fréquence des EFE et de comportements liés au plaisir en réponse à la musique chez des personnes atteintes de la MA. Par conséquent, il est possible que des troubles thymiques, probablement la dépression, ait réduit la fréquence des EFE+ du groupe maison de repos accentuant les différences entre les groupes. Toutefois, aucun questionnaire ne nous permet de confirmer cette hypothèse. Un questionnaire d'humeur (STAI) avait été administré au groupe domicile (étude 2) mais pas au groupe maison de repos

(étude 1). Par conséquent, davantage de recherches devraient être effectuées afin de mieux comprendre les effets des troubles thymiques dans la maladie d'Alzheimer sur les comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle durant une activité de synchronisation au rythme musical.

La différence entre les groupes au niveau de la durée des mouvements rythmiques des lèvres montrant que la durée de ces mouvements est plus élevée chez les participants de l'étude 1 que de l'étude 2 met en évidence un biais entraîné par la différence de durée de chant de la part du chanteur entre les deux études. En effet, la durée de chant dans l'extrait musical était plus long dans l'étude 1 (presque 60 secondes de chant pour une durée de 60 secondes pour la condition) que dans l'étude 2 (30 secondes de chant pour une durée de 60 secondes pour la condition). Par conséquent, les participants du groupe maison de repos ont chanté plus longtemps que ceux du groupe domicile notamment par mimétisme (Chartrand & Bargh, 1999; Astell & Ellis, 2006; Chartrand & Lakin, 2013). Cependant, il est remarqué que la durée de chant de la part des participants est assez élevée dans les deux groupes (25 % pour le groupe domicile et 50 % pour le groupe maison de repos) mettant en évidence que la reconnaissance de la chanson (bien qu'elle n'ait pas été contrôlée dans l'étude 1) et le plaisir à l'écouter pourraient avoir favorisé la production spontanée de ce comportement. Par conséquent, il semble que le chant soit un mode d'expression préservé dans la maladie d'Alzheimer et pourrait être utilisé pour renforcer les liens sociaux et améliorer le bien-être des patients et de leur entourage comme le suggèrent de précédentes études (Götell, Brown, & Ekman, 2003, 2009; Särkämö et al., 2014).

Contrairement aux autres comportements, il n'y a pas de différence entre les groupes sur la durée de mouvements rythmiques spontanés de la tête. Cependant, la durée moyenne de ces mouvements est élevée pour les deux groupes montrant que les participants bougeaient leur tête au rythme de la musique ou en synchronisation avec les mouvements du chanteur entre le tiers et la moitié du temps de la chanson. Cette donnée nous indique que les différences entre les groupes n'interfèrent pas la production spontanée des mouvements rythmiques de la tête lors de l'écoute de musique dans la maladie d'Alzheimer. Ainsi, la sévérité de la maladie ne semble pas réduire la production de ce comportement en réponse à la musique. Dans des situations d'interaction sociale, Caris-Verhallen et ses collaborateurs avaient d'ailleurs observé que les mouvements de tête ainsi que le contact visuel et les expressions faciales étaient particulièrement utilisés par les aidants et les personnes atteintes de la MA dans des stades avancés pour communiquer (Caris-Verhallen, Kerkstra, & Bensing, 1999). Ainsi, la production spontanée des mouvements rythmiques de la tête en réponse à la musique dans la maladie

d'Alzheimer tout comme le chant pourrait être préservée même à des stades avancés de la maladie et pourrait être considérée comme un mode d'expression à privilégier afin de favoriser l'expression non verbale de ces personnes.

L'absence d'effet du contexte social sur la production spontanée des comportements non verbaux dans les deux groupes montre que la présence physique et pré-enregistrée du chanteur ou de la chanteuse ne semble pas moduler différemment les comportements non verbaux des participants au contraire des performances de synchronisation. Ceci indique que l'attention des participants était probablement concentrée sur la tâche de synchronisation réduisant ainsi la production spontanée de comportements non verbaux comme le suggère Leman (Leman, 2007). De plus, il semble que la position et/ou le genre du chanteur (femme pour étude 1 et homme pour étude 2) n'influence pas la production de ces comportements. Néanmoins, il est possible que ces paramètres aient pu moduler d'autres comportements non inclus dans cette analyse comme la durée de regard vers le chanteur (cf. **étude 2 chapitre 7**).

D'autres caractéristiques non contrôlées expérimentalement comme la valence et l'*arousal* ou encore la familiarité de la chanson pourraient avoir influencé les résultats. En effet, les caractéristiques acoustiques et émotionnelles de la musique peuvent moduler les comportements des participants (Husain, Thompson, & Schellenberg, 2002; Bernardi, Bellemare-Pepin, & Peretz, 2017) de même que la familiarité des chansons (Leow, Rinchon, & Grahn, 2015). Bien que les chansons sélectionnées ont été choisies pour leur popularité auprès des personnes âgées ainsi que pour leurs caractéristiques dynamiques et joyeuses, il est possible que certaines entraînent plus d'impact sur les comportements des participants que d'autres. L'examen de l'influence de ces caractéristiques sur le comportement des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer pourrait être envisagé comme de futures perspectives de recherche à réaliser au cours d'une tâche de synchronisation au rythme de la musique.

Conclusion

La comparaison des comportements entre les groupes de personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer ou de maladies apparentées des deux études a mis en évidence que les performances de synchronisation et l'engagement social et émotionnel (EFE+) diffèrent entre les personnes vivant en maison de repos par rapport à celles qui vivent encore au domicile. De plus, nos résultats ont montré que la présence d'un chanteur ou d'une chanteuse module différemment la constance et les asynchronies signées en réponse à la musique entre les

personnes vivant en maison de repos et celles vivant à leur domicile malgré un appariement de groupe sur le score MMSE, l'âge et la proportion de genre. Ces différences de résultats entre les groupes suggèrent que la probable sévérité plus importante de la maladie des participants vivant en maison de repos (étude 1) pourrait avoir réduit les performances de synchronisation au rythme de la musique ainsi que la fréquence des EFE+ par comparaison aux participants vivant à domicile (étude 2). Ainsi, les performances de synchronisation semblent se détériorer plus tardivement dans la maladie puisqu'aucune différence n'avait été observée entre les personnes atteintes de la MA et les participants présentant un vieillissement physiologique 'normal' dans l'étude 2. Cependant, la QOM et la fréquence des EFE+ diminuent rapidement après l'apparition de la maladie comme observé chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer qui vivent encore au domicile (**étude 2 chapitres 6 et 7**) montrant que cette réduction semble liée au déclin cognitif dans la maladie. De plus, les différences liées à la qualité du support et à la position du chanteur entre les études pourraient également avoir influencé en particulier les performances de synchronisation des participants. Cette analyse permet de mettre en évidence différents facteurs pouvant influencer la réponse comportementale des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer au cours d'une activité musicale ouvrant ainsi des perspectives futures de recherche dans ce domaine.

Chapitre 9 : Discussion générale et perspectives

L'objectif principal de ce travail de thèse était d'examiner comment l'activité de synchronisation au rythme de la musique influence différentes réponses comportementales à la musique (au niveau moteur, rythmique, social et émotionnel) chez des personnes présentant un vieillissement pathologique (maladie d'Alzheimer ou maladies apparentées) et chez des personnes avec un vieillissement physiologique 'normal'. Dans la partie théorique, nous avons décrit les effets des interventions musicales sur l'émotion, le comportement et la cognition des personnes atteintes de maladies neurodégénératives. Nous avons également rapporté certaines données qui suggèrent que le couplage audio-moteur associé au traitement musical pourrait être en partie préservé dans la maladie d'Alzheimer (**chapitre 1**). Ensuite, nous avons discuté comment le rythme de la musique (**chapitre 2**) et l'action conjointe avec d'autres personnes (**chapitre 3**) pouvaient contribuer à l'engagement rythmique, mais également social et émotionnel, tout en modulant les performances de synchronisation au cours d'une intervention musicale.

Dans nos recherches de thèse, nous avons réalisé deux études successives impliquant une tâche de synchronisation au rythme de la musique. Dans l'**étude 1 (chapitre 4 et 5)**, seules des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer (MA) ou de maladies apparentées vivant en maison de repos ont été évaluées. Dans l'**étude 2**, deux groupes de personnes âgées résidant encore à leur domicile, l'un présentant une MA et l'autre un vieillissement physiologique ont été examinés afin de vérifier si la maladie avait un impact sur les comportements observés au cours de la tâche de synchronisation (**chapitre 6 et 7**). Dans ces deux études, il était demandé aux participants de synchroniser le tapping de leur main au rythme de séquences auditives (métronome et musique). Cette tâche était réalisée en action conjointe avec un(e) chanteur(se) physiquement présent ou au travers d'un enregistrement audio-visuel. Pour ce faire, nous avons mesuré différents comportements à partir d'une démarche pluridisciplinaire qui associe des méthodes tirées des sciences du mouvement, de la psychologie sociale et de la neuropsychologie. L'objectif de nos recherches visait à examiner les effets du contexte social (présence physique vs pré-enregistrée du chanteur), de la musique (musique vs métronome) et de la maladie (MA vs Contrôles) sur (1) les performances de synchronisation (impliquant un traitement cognitif du rythme et une réponse motrice), (2) la quantité de mouvements produits spontanément (engagement moteur), (3) la production de comportements non verbaux liés à la

relation sociale et émotionnelle (engagement social et émotionnel) et sur (4) la production spontanée de mouvements rythmiques (engagement rythmique).

Enfin, nous avons comparé les participants de l'étude 1 avec ceux de l'étude 2, tous atteints de la MA pour vérifier si le fait de vivre en maison de repos pouvait avoir un impact sur ces résultats (**chapitre 8**). Cette comparaison a permis également de discuter certaines questions méthodologiques en vue de perspectives futures.

La discussion générale qui suit est divisée en trois parties. La première partie est consacrée à la discussion des effets du contexte social, la deuxième partie à la discussion des effets de la musique et de ses caractéristiques et la troisième partie concerne l'impact de la maladie d'Alzheimer sur les différents comportements produits en réponse à la musique par comparaison au vieillissement physiologique. Chacune de ces sections inclut une discussion des résultats principaux en lien avec la littérature existante et les limites de nos études ainsi que la réflexion sur de futures perspectives. Nous terminerons cette discussion générale en proposant quelques applications cliniques.

9.1. Effet du contexte social sur les réponses à la musique

9.1.1. Attention divisée entre le chanteur et la musique

Dans ce travail de thèse, nous avons examiné les comportements de personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer et de participants contrôles qui réalisaient une tâche de synchronisation avec un musicien en présence physique et au travers d'un enregistrement audio-visuel. Nous avons mis en évidence que la présence physique du musicien lors de l'action conjointe de synchronisation au rythme de la musique diminuait la constance de la SMS et entraînait un retard de la tape des participants par comparaison à l'enregistrement audio-visuel du musicien (**étude 1 chapitre 4 et analyse complémentaire**). La présence physique du musicien semblait donc dévier l'attention du participant portée sur la tâche de synchronisation par comparaison à l'enregistrement audio-visuel. Ce résultat contraste avec ceux d'autres études qui montrent que la présence physique d'un musicien (ou l'influence bidirectionnelle), par comparaison à une condition pré-enregistrée (ou influence unidirectionnelle), augmente la constance de la synchronisation (Kirschner & Tomasello, 2009; Konvalinka, Vuust, Roepstorff, & Frith, 2010). Dans nos études, le participant se trouvait face à deux facteurs d'influence : le chanteur (en présence physique ou pré-enregistrée) et le rythme de la musique. Cependant, dans les autres

études, soit l'un, soit l'autre était présenté aux participants. En effet, dans l'étude de Kirschner et Tomasello (2009), soit le participant se synchronisait aux tapes de l'expérimentateur et n'entendait pas de séquences auditives, soit il se synchronisait aux beats auditifs du métronome sans référence visuelle. De même, dans l'étude de Konvalinka et al. (2010), le participant se synchronisait aux stimuli auditifs soit en condition d'influence bidirectionnelle (les deux partenaires se synchronisent au son des tapes de l'autre), soit en condition d'influence unidirectionnelle (synchronisation au son des tapes d'une seule personne) mais dans les deux cas sans voir le partenaire de synchronisation. Par la présence des deux facteurs dans nos études, l'attention des participants se retrouvait divisée entre la musique et le chanteur malgré le fait que la performance de synchronisation était très stable et précise chez les chanteurs de l'étude 1 et 2. En effet, la performance élevée de synchronisation des chanteurs n'entraînait pas de différence importante par comparaison au rythme de la musique. Cependant, l'attention divisée entre le rythme de la musique et le chanteur ou l'attention focalisée sur le chanteur dans la condition de présence physique pourrait ainsi réduire la constance de la SMS des participants.

La présence physique du chanteur renforce néanmoins l'engagement social et émotionnel (EFE+) et l'engagement à la musique (mouvements des lèvres) par comparaison à l'enregistrement audio-visuel tant chez des personnes atteintes de la MA que chez les participants contrôles (**étude 2 chapitre 7**). La présence physique du chanteur n'a donc pas le même effet sur les performances de synchronisation que sur la production spontanée de certains comportements non verbaux (EFE+ et lèvres) en réponse à la musique. Cela pourrait s'expliquer par le caractère automatique de la production des comportements non verbaux notamment par mimétisme (Lakin, 2006), alors que la synchronisation est associée à un processus cognitivement plus exigeant (Repp, 2005 pour une revue). De plus, l'interaction sociale pourrait attirer davantage l'attention des participants que le rythme de la musique. Dans une étude présentant l'intervention d'un partenaire et du rythme de la musique simultanément, il a été mis en évidence que la synchronisation spontanée interpersonnelle était plus constante que la synchronisation spontanée au rythme de la musique. Cela suggère que l'attention des participants se focalisait davantage sur le partenaire que sur la synchronisation spontanée au rythme de la musique (Demos, Chaffin, Begosh, Daniels, & Marsh, 2012). Néanmoins, suite à la présence du chanteur et du rythme de la musique dans les deux conditions de nos études, il est difficile de pouvoir séparer l'influence du chanteur de celle de la musique sur les différents comportements.

9.1.1.1. Perspectives

Comme mentionné ci-dessus, il n'est pas possible de dissocier dans nos études l'effet induit par le chanteur de celui de la musique sur les performances de synchronisation et la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle et liés à la musique des participants. Toutefois, en s'inspirant de dispositifs présentés dans des études antérieures, nous pourrions séparer l'influence de ces facteurs (musique et interaction sociale) sur le comportement. Par exemple, une condition avec une synchronisation aux tapes du chanteur sans musique pourrait être comparée aux conditions musicales comme le réalisent Kirschner et Tomasello (2009). Dans cette condition, le participant se synchroniserait, sans écouter de séquence auditive, aux tapes et aux comportements du chanteur qui lui se synchronise au rythme de la musique au travers des écouteurs. De même, une condition de synchronisation au rythme musical sans chanteur dans laquelle le participant se synchronise seul au rythme de la musique pourrait être comparée aux autres conditions. Ainsi, une comparaison entre trois situations : (1) une condition avec uniquement une synchronisation interpersonnelle (attention focalisée sur le partenaire), (2) une condition avec uniquement une synchronisation au rythme de la musique (attention focalisée sur la musique) et (3) une condition impliquant les deux, nous permettrait de dissocier l'effet de la musique de celui du chanteur sur les différents comportements. Ceci permettrait de mieux comprendre l'influence de chaque facteur au cours d'une action conjointe de synchronisation au rythme de la musique.

9.1.2. Adaptation bidirectionnelle et unidirectionnelle

L'influence de la présence physique par comparaison à la présence pré-enregistrée du chanteur sur les performances de synchronisation et sur la production de comportements non verbaux suggère également que le participant pourrait s'adapter davantage aux comportements du chanteur en présence physique qu'en présence pré-enregistrée. En effet, l'action conjointe en présence physique du chanteur permet une adaptation mutuelle (influence bidirectionnelle) des comportements non verbaux entre le chanteur et le participant où ceux-ci coordonnent spontanément les EFE par exemple. En revanche, la condition pré-enregistrée n'entraîne qu'une influence unidirectionnelle des comportements du chanteur vers ceux du participant (Redcay et al., 2010; Jola & Grosbras, 2013). Or, l'adaptation mutuelle des comportements à travers l'imitation comportementale ou la synchronisation interpersonnelle des mouvements (Knoblich, Butterfill, & Sebanz, 2011) renforce les sentiments de sympathie et les

comportements de coopération (Wiltermuth & Heath, 2009; Kirschner & Tomasello, 2010; Stupacher, Maes, Witte, & Wood, 2017; Stupacher, Wood, & Witte, 2017) ou autrement dit l'engagement social et émotionnel. Ainsi, la possible adaptation mutuelle en présence physique du chanteur pourrait expliquer l'augmentation de la qualité de la relation sociale et émotionnelle (EFE+) et de l'engagement rythmique (lèvres) des participants par comparaison à la condition pré-enregistrée.

En ce qui concerne les performances de synchronisation, il n'y avait pas d'adaptation bidirectionnelle des tapes entre le chanteur et le participant car les chanteurs dans les deux études maintenaient une synchronisation constante et précise au rythme de la musique. Cependant, l'interaction sociale ou l'adaptation mutuelle des comportements non verbaux perturbe la performance de la synchronisation dans nos études en induisant une réduction de la constance et un retard de la tape des participants en présence physique du chanteur. Ainsi, l'adaptation bidirectionnelle des comportements non verbaux influencerait différemment la performance de synchronisation et la production spontanée de comportements non verbaux, en stimulant la production de comportements non verbaux et en perturbant la performance de synchronisation. Cette différence s'expliquerait par le fait que les EFE+ et les mouvements de lèvres (production spontanée de chant) mais pas la performance de synchronisation au rythme de la musique sont directement impliqués dans l'interaction sociale comme ceux-ci peuvent faire l'objet d'imitation et de synchronisation interactionnelle entre le chanteur et le participant.

Nous remarquons aussi que l'interaction sociale perturbe plus la performance de synchronisation au rythme de la musique dans l'**étude 1 (chapitre 4)** que dans l'**étude 2 (chapitre 6)**. Toutefois, les participants de l'étude 1 étaient plus atteints par la maladie que dans l'étude 2, ce qui pourrait expliquer cette différence (**chapitre 8**). Comme la tâche de synchronisation demande un effort cognitif, les participants de l'étude 1 auraient plus de difficultés à maintenir une synchronisation constante avec l'influence de l'interaction sociale (ou de l'adaptation bidirectionnelle des comportements non verbaux) sur la performance de synchronisation au rythme de la musique que ceux de l'étude 2.

9.1.2.1. Perspectives

Dans nos deux études, les consignes fournies aux chanteurs étaient de se synchroniser au rythme de la musique de manière constante et précise. Ces consignes entraînaient donc une adaptation unidirectionnelle des tapes du participant avec celles du chanteur. Or, de précédentes études ont

montré que l'adaptation mutuelle des tapes améliore la constance et la précision de la synchronisation chez de jeunes adultes (Konvalinka et al., 2010; Demos, Carter, Wanderley, & Palmer, 2017). De plus, cette adaptation mutuelle renforce la qualité de la relation sociale et émotionnelle entre les personnes impliquées dans la tâche (Wiltermuth & Heath, 2009; Vicaria & Dickens, 2016; Stupacher, Maes, et al., 2017; Stupacher, Wood, et al., 2017). Par conséquent, une perspective de recherche serait de vérifier si l'adaptation mutuelle des tapes module les performances de synchronisation des participants ainsi que la production spontanée de comportements non verbaux par comparaison à l'adaptation unidirectionnelle du participant au chanteur. Par exemple, dans une condition, le participant et le chanteur (en présence physique) se synchronisent aux tapes de l'autre (influence bidirectionnelle) et dans une autre, le participant se synchronise aux tapes du chanteur (en présence pré-enregistrée, influence unidirectionnelle). Un dispositif expérimental relativement similaire a déjà été employé où le participant se synchronisait à des stimuli auditifs qui correspondaient soit à une influence unidirectionnelle (feedback des tapes du partenaire), soit à une influence bidirectionnelle du partenaire (chacun se synchronise au feedback de l'autre) (Konvalinka et al., 2010). D'autres études ont également mis en place un partenaire virtuel à partir d'un programme informatisé qui s'adapte aux tapes du participant (van der Steen, & Keller, 2013; Fairhurst, Janata, & Keller, 2014). Il est ainsi possible de régler le degré d'adaptation et d'anticipation de ce partenaire virtuel par rapport aux tapes du participant et d'examiner comment le participant réagit face aux réponses de celui-ci. Grâce à ce dispositif informatisé, il est aussi possible d'observer les mécanismes d'adaptation, notamment en modulant le tempo de manière progressive comme le rapportent ces études (van der Steen et al., 2013; Fairhurst et al., 2014). L'utilisation de ce dispositif informatisé permettrait ainsi de vérifier l'impact de l'adaptation bidirectionnelle des tapes sur les performances de synchronisation mais aussi sur la production spontanée des comportements non verbaux par comparaison à une adaptation unidirectionnelle.

Ce dispositif adaptatif permet également de dégager les effets d'une relation de '*leader-follower*' sur les performances de synchronisation (Goebel & Palmer, 2009; Fairhurst et al., 2014). Dans nos études, les chanteurs agissaient comme des leaders de la synchronisation en se concentrant sur le rythme de la musique plutôt qu'en s'adaptant aux participants. Cette relation de leader-follower pourrait également avoir une répercussion sur la production spontanée de comportements non verbaux. En effet, comme nous l'avons exposé dans l'introduction (**chapitre 3**), les comportements non verbaux peuvent avoir des fonctions sociales et sont donc modulés selon les relations sociales (Mehrabian, 1969; Word, Zanna, & Cooper, 1974; Eibl-

Eibesfeldt, 1989; Burgoon & Dunbar, 2006; Schiaratura, 2013). Par conséquent, l'examen des effets de la relation leader-follower sur les comportements par comparaison à une relation où les deux partenaires s'adaptent l'un à l'autre nous permettrait d'observer l'influence des rôles dans la relation sur les comportements au cours d'une activité de synchronisation.

Bien qu'une adaptation bidirectionnelle des tapes entre le participant et le chanteur ne semble pas présente dans ce travail de thèse, il est possible qu'une adaptation mutuelle des comportements non verbaux (EFE et direction du regard par exemple) entre le participant et le chanteur présent physiquement prenne place. Une analyse de la synchronisation interactionnelle (ou d'imitation comportementale) des comportements non verbaux entre le participant et le chanteur nous permettrait de confirmer l'adaptation mutuelle en condition de présence physique du chanteur ainsi que son impact sur la qualité de la relation sociale et émotionnelle et sur la production spontanée de mouvements rythmiques. Une telle condition pourrait être comparée à une condition pré-enregistrée où seule une adaptation unidirectionnelle est possible. Le décodage de la synchronisation interactionnelle de comportements non verbaux a déjà été réalisé de nombreuses fois auparavant dans le domaine de la communication non verbale (Chartrand & Lakin, 2013 pour une revue) et pourrait s'avérer utile pour la réalisation de ce type d'analyse.

Enfin, comme le chanteur réalisait la tâche avec les participants tant en présence physique que pré-enregistrée dans nos études, il n'était pas possible d'évaluer l'effet de l'action conjointe sur le comportement des participants par comparaison à une action non-conjointe. Or, une condition où le chanteur se synchronise progressivement de manière décalée au rythme d'un extrait musical et aux tapes des participants pourrait être comparée à une condition où les participants et le chanteur se synchronisent au rythme de la musique de manière synchrone. Cette comparaison permettrait de vérifier si l'action conjointe synchrone entre le participant et le chanteur renforce la qualité de la relation sociale et émotionnelle et l'engagement à la musique par comparaison à une condition asynchrone. Grâce à cette comparaison, il serait également possible d'évaluer comment le contexte de synchronisation module la sensation de contrôle (*'agency'*). D'après Sebanz, Bekkering, & Knoblich (2006), l'augmentation de la sensation de contrôle, associée à de la satisfaction, correspondrait au fait de pouvoir prédire les mouvements de l'autre ou des événements auditifs. Ainsi, une situation où le participant peut prédire l'occurrence des comportements du chanteur (condition synchrone) renforcerait les liens sociaux entre les partenaires de l'action conjointe (Sebanz et al., 2006) et améliorerait l'humeur des participants comme le rapportent Fritz, Halfpaap, Grahl, Kirkland, & Villringer (2013).

Cette comparaison entre une condition synchrone et asynchrone a déjà été utilisée auprès de jeunes adultes montrant que la condition synchrone entraîne une augmentation des sentiments de sympathie et de la coopération envers l'expérimentateur par comparaison à la condition asynchrone (Wiltermuth & Heath, 2009; Stupacher, Maes, et al., 2017; Stupacher, Wood, et al., 2017). L'ajout des mesures liées à la coopération proposées par ces études pourrait d'ailleurs être complémentaire à celles de la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle décodés dans nos études.

L'examen de l'influence des différents facteurs proposés sur le comportement nous aiderait à mieux comprendre l'effet de l'interaction sociale au cours des interventions musicales dans le but d'améliorer la communication et les liens sociaux des patients et de leur entourage.

9.1.3. Influence du média sur le comportement

La présence physique du chanteur permet d'augmenter l'engagement social et émotionnel au cours d'une tâche de synchronisation au rythme de la musique comme nous l'avons vu précédemment. Cependant, dans certaines circonstances, les normes sociales peuvent moduler les réponses comportementales des participants (Guerin, 1986) comme nous l'observons avec la durée de regard vers le chanteur. De manière surprenante, la durée de regard vers le chanteur est moins élevée en présence physique que pré-enregistrée du chanteur (**étude 2 chapitre 7**).

Face au regard du chanteur physiquement présent, le participant pourrait sentir davantage une impression de contrôle ou de présence sociale sur lui que dans la condition pré-enregistrée. De même, le regard prolongé du chanteur vers le participant lors du face à face dans la condition de présence physique pourrait entraîner de la gêne auprès des participants (Edelmann & Hampson, 1981) et les conduire à maintenir leur regard davantage sur la tablette que vers le chanteur. Face à face avec un écran, le participant pourrait se sentir moins soumis aux contraintes sociales et s'exprimer plus librement dans la production de la tâche et de ses mouvements comme le rapportent quelques études évaluant l'effet de l'écran sur les comportements non verbaux liés à la relation sociale (Manstead, Lea, & Goh, 2011; Philippot & Douilliez, 2011). Ainsi, ces données montrent que l'utilisation d'un contexte virtuel, comme les enregistrements audio-visuels, pourraient influencer différemment la production de certains comportements non verbaux par comparaison à un face à face en présence physique.

9.1.3.1. Perspectives

La condition virtuelle permettrait donc aux participants de produire la tâche avec moins de contraintes sociales pouvant ainsi faciliter la production de certains comportements non verbaux par comparaison à un face à face en présence physique.

Alors que le face à face en présence physique d'un partenaire induit une adaptation bidirectionnelle des comportements non verbaux comme les EFE et la direction du regard, la condition pré-enregistrée implique uniquement une influence unidirectionnelle (Redcay et al., 2010). Cependant, la vidéo-conférence, contrairement à un enregistrement, peut entraîner une adaptation bidirectionnelle des comportements car elle permet une réactivité mutuelle des interlocuteurs. D'ailleurs, la vidéo-conférence pourrait augmenter la qualité de la relation sociale comme le montrent Freeth et al. (2013) qui rapportent que la direction du regard de l'interlocuteur a un effet sur le regard du participant lors d'une vidéo-conférence mais pas avec un enregistrement audio-visuel.

Précédemment, les effets de l'écran sur les comportements liés à la relation sociale ont été explorés chez de jeunes adultes au travers de vidéo-conférences montrant que l'utilisation de la vidéo-conférence lors d'une interaction sociale a pour effet de réduire l'intensité des émotions exprimées (Manstead et al., 2011 ; Philippot & Douilliez, 2011). Cet effet pourrait conduire les participants par exemple à regarder davantage le partenaire et à s'exprimer plus aisément lors de la vidéo-conférence plutôt qu'en face à face physique. Dans une étude récente, Croes et ses collaborateurs (2018) ont montré que la plupart des comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle étaient produits de manière similaire dans une conversation effectuée en vidéo-conférence et en présence physique de l'autre personne. Cependant, la vidéo-conférence amène les interlocuteurs à produire plus de sourires qu'en présence physique (Croes, Antheunis, Schouten, & Kraemer, 2018). D'autres études ont montré également que des thérapies réalisées par vidéo-conférence présentent les mêmes effets de réduction des signes de la dépression chez des personnes âgées de plus de 50 ans qu'en face à face physique du thérapeute (Choi et al., 2014). Ces mêmes résultats ont été trouvés sur la réduction des signes d'anxiété chez des aidants (Demiris et al., 2012). Par conséquent, il semble que l'utilisation de la vidéo-conférence n'affecte pas les effets de l'interaction sociale sur la qualité de la relation sociale par comparaison à un face à face physique. Une comparaison des comportements non verbaux en présence physique du chanteur et au travers d'une vidéo-conférence au cours d'une action conjointe musicale devrait être effectuée. Cette comparaison permettrait de vérifier si le

contexte virtuel module la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle ainsi que la production spontanée de mouvements rythmiques dans la maladie d'Alzheimer et dans le vieillissement normal indépendamment des différences entre l'adaptation bidirectionnelle et unidirectionnelle des comportements non verbaux.

Les résultats de cette thèse mettent en évidence que la présence physique d'un chanteur augmente l'engagement rythmique et la qualité de la relation sociale et émotionnelle chez des personnes atteintes de la MA tout en modulant leur performance de synchronisation au rythme de la musique. Cependant, l'utilisation de la vidéo amènerait également le participant à s'exprimer avec moins de contraintes sociales, ce qui pourrait être utile pour les interventions musicales réalisées auprès d'une population anxieuse par exemple. De plus, cet outil de communication offre l'avantage de pouvoir être adapté en fonction du profil de la personne et d'être accessible à un plus grand nombre de patients. Dès lors, l'utilisation de la vidéo ou de la vidéo-conférence pourrait être envisagée pour la réalisation d'interventions musicales. Ainsi, la méthode mise en place dans cette thèse propose des outils pour évaluer l'impact du contexte social sur le comportement des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer au cours d'interventions musicales en vue d'améliorer l'efficacité de celles-ci sur le bien-être et la communication des patients.

9.2. Influence des caractéristiques de la musique sur le comportement

9.2.1. Musique et ses caractéristiques temporelles par comparaison au métronome

Dans les deux études réalisées dans cette thèse, les comportements ont été comparés en réponse à la musique et au métronome mettant en évidence que les performances de synchronisation (constance et asynchronies signées) sont influencées différemment par ces deux séquences auditives tant chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer que chez des participants contrôles. En effet, la constance de la synchronisation était plus élevée en réponse aux beats du métronome qu'au rythme de la musique alors que l'asynchronie négative moyenne était plus élevée (précision moins élevée) en réponse aux beats du métronome qu'au rythme de la musique comme le rapportent de précédentes études réalisées chez le jeune adulte (Aschersleben, 2002; Sowiński & Dalla Bella, 2013; Dalla Bella et al., 2017).

En fonction du type de séquences auditives, le contexte social module aussi différemment les performances de synchronisation. Dans l'**étude 1 (chapitre 4)**, nous observons un effet du

contexte social sur la synchronisation au rythme de la musique mais pas avec le métronome. En effet, la présence physique du chanteur retardait la tape par comparaison à l'enregistrement audio-visuel dans les conditions musicales mais pas dans les conditions métronomiques. Cela montre que la musique pourrait favoriser l'influence de l'interaction sociale sur la performance de synchronisation par comparaison au métronome. Cette différence d'effet entre les séquences auditives s'expliquerait par le fait que le métronome présente moins de caractéristiques stimulantes que la musique (Styns, van Noorden, Moelants, & Leman, 2007; Leman et al., 2013). Cela limiterait également l'engagement des participants dans la tâche comme le montre la réduction de la production de mouvements rythmiques spontanés des lèvres et des membres inférieurs par comparaison à la musique dans l'**étude 1 (chapitre 5)**. Cependant, dans l'**étude 2 (chapitre 6)**, l'effet du contexte social sur la synchronisation n'est pas remarqué avec la musique mais bien avec le métronome. Bien qu'il n'y avait pas de différence entre la présence physique et pré-enregistrée du chanteur sur la synchronisation au rythme de la musique, un retard de la tape était observé dans ces deux conditions suggérant que le chanteur influençait la synchronisation des participants. Cependant, comme le métronome est moins stimulant que la musique, l'attention des participants à la tâche de synchronisation serait facilement détournée par la présence physique du chanteur par comparaison à l'enregistrement, l'interaction sociale permettant de rendre la tâche plus dynamique. La différence de résultats entre les deux études pourrait toutefois s'expliquer par la sévérité plus importante de la maladie chez les participants de l'étude 1 que dans l'étude 2 (**chapitre 8**) réduisant ainsi l'effet de la présence physique du chanteur sur la synchronisation avec le métronome ainsi que l'impact de l'enregistrement audio-visuel sur la synchronisation avec la musique. Ainsi, les séquences auditives et la sévérité de la maladie pourraient moduler l'effet du contexte social sur la performance de synchronisation.

Nos résultats mettent également en évidence que le tempo module l'influence du contexte social sur la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle dans les conditions musicales. La fréquence des EFE+ était plus élevée en présence physique que pré-enregistrée de la chanteuse avec un tempo rapide mais pas avec un tempo plus lent (**analyse complémentaire étude 1 chapitre 5**). Cependant, l'effet du contexte social sur les EFE+ a été obtenu avec un tempo plus lent dans l'**étude 2 (chapitre 7)**. Outre la différence de profils des participants entre les études 1 et 2 comme décrit précédemment (**chapitre 8**), les chansons n'étaient pas les mêmes entre les études pouvant présenter un arousal et/ou une valence différente expliquant notamment pourquoi un effet du tempo lent a été trouvé dans l'étude 2 et pas dans l'étude 1.

Les caractéristiques temporelles comme le tempo et la métrique influencent aussi l'effet du contexte social sur les performances de synchronisation (constance et asynchronies signées). Cet effet sur les performances de synchronisation a été trouvé particulièrement avec un tempo lent en métrique ternaire (intervalle de 800 ms entre les beats forts, 1:3) montrant que la présence physique du chanteur diminue plus la constance et l'asynchronie négative par comparaison à l'enregistrement avec ces caractéristiques temporelles plutôt qu'avec d'autres (**étude 1 chapitre 4 analyse complémentaire**). Par conséquent, ces caractéristiques ont été utilisées pour l'étude 2. Dans cette 2^e étude, nous avons observé que le tempo moteur spontané des participants était proche de ce tempo de 800 ms et qu'il pouvait prédire les performances de synchronisation mais uniquement en réponse aux beats du métronome (**étude 2 chapitre 6**). Cette étude révèle ainsi le tempo pouvant faciliter la synchronisation chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer.

Les résultats présentés mettent en évidence que la musique influence différemment les performances de synchronisation et la production de comportements non verbaux par comparaison au métronome en augmentant par exemple l'engagement rythmique des participants. Cependant, les caractéristiques temporelles des séquences auditives comme le tempo et la métrique semblent moduler ces effets.

Bien que l'influence du type de métrique (binaire et ternaire) ait été contrôlé sur les performances de synchronisation et sur la production de comportements non verbaux à travers les analyses complémentaires de l'étude 1, ce facteur n'a été contrôlé que dans les conditions musicales mais pas dans les conditions métronomiques. Or, l'utilisation de la métrique également pour les conditions métronomiques nous aurait permis de pouvoir comparer les réponses des participants entre la musique et le métronome sur les mêmes paramètres comme réalisé dans une étude précédente (Leman et al., 2013).

La perception de la métrique est également un élément important pour la réalisation d'une tâche de synchronisation (London, 2002; McAuley, 2010). Plusieurs études ont d'ailleurs rapporté les difficultés d'une partie de la population à percevoir la métrique ainsi que le beat dans le rythme de la musique entraînant un impact sur la performance de synchronisation (Phillips-Silver et al., 2011; Sowiński & Dalla Bella, 2013; Palmer, Lidji, & Peretz, 2014; Tranchant, Vuvan, & Peretz, 2016; Bégel et al., 2017). Etant donné les troubles cognitifs rencontrés dans la maladie d'Alzheimer, le chanteur tant en présence physique qu'à travers un enregistrement audio-visuel réalisait la même tâche que le participant dans nos études afin de lui montrer sur quel beat porte la synchronisation au rythme de la musique. Cette action conjointe a été

envisagée afin de réduire la complexité de la tâche. Cependant, elle ne nous permet pas d'examiner les capacités réelles des participants en termes de perception du beat lors de la synchronisation. Or, une comparaison des performances liées à la perception de la métrique entre les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer et les participants contrôles nous aurait permis de vérifier si une différence existe entre les groupes à ce niveau.

9.2.1.1. Perspectives

Un examen des capacités de perception de la métrique et du beat dans le rythme de la musique devrait être réalisé chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer étant donné le peu de connaissance existante sur les capacités de cette population à cette tâche. L'utilisation de tests évaluant la perception des beats de la métrique comme le *Beat Alignment Test* (BAT) issu de la BAASTA (Dalla Bella et al., 2017) permet d'évaluer les capacités des participants à percevoir si des sons sont alignés ou non aux beats musicaux. Étant donné sa longueur (15 minutes), une version abrégée devrait néanmoins être mise au point pour qu'elle soit adaptée aux personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. De plus, cet examen permettrait de mettre en lien les performances de synchronisation avec celles de la perception du beat dans le rythme de la musique. De même, l'évaluation de la perception du beat pourrait être prise en compte dans l'étude des effets de l'activité de synchronisation sur le comportement des participants en vue de réduire la variabilité inter-individuelle des performances entre les participants au sein d'un même groupe.

Comme suggéré ci-dessus, l'accentuation des beats du métronome (1:2 et 1:3) permettrait d'examiner l'effet de la métrique sur la synchronisation dans les conditions métronomiques (cf. Leman et al., 2013). Cela rendrait aussi possible de vérifier si la métrique influence différemment les performances de synchronisation et les comportements non verbaux en réponse à la musique et au métronome. Ainsi, nous pourrions mieux comprendre comment les caractéristiques temporelles de la musique influencent les comportements au cours d'une activité de synchronisation.

9.2.2. Familiarité des chansons

L'exposition à un type de musique conduit l'auditeur à généraliser les règles liées à cette musique, l'amenant ainsi à produire des attentes lorsqu'il l'écoute (Tillmann, 2005). Ces moments de prédiction temporelle au cours de l'écoute musicale ont été associés au plaisir

(Salimpoor et al., 2013; Salimpoor, Zald, Zatorre, Dagher, & McIntosh, 2015; Mas-Herrero, Dagher, & Zatorre, 2018; Ferreri et al., 2019). L'écoute de musique familière se caractérise donc par une connaissance implicite de quel événement va se produire dans cette musique. Cette familiarité de la musique module ainsi également la performance de la synchronisation du tapping et de la marche chez des jeunes adultes (De Bruyn, Leman, Moelants, Demey, & Desmet, 2009; Leow, Rinchon, & Grahn, 2015). De plus, l'anticipation des événements auditifs dans une musique familière augmenterait l'éveil (*arousal*) émotionnel par comparaison à l'écoute d'une musique non-familière (Van Den Bosch, Salimpoor, & Zatorre, 2013). Etant donné la préservation de la mémoire musicale dans la maladie d'Alzheimer (Jacobsen et al., 2015; King et al., 2019), il est possible que la familiarité de la chanson puisse avoir aidé les participants tant au niveau des performances de synchronisation que de la production de comportements non verbaux même à des stades avancés de la maladie. Dans nos deux études, nous avons sélectionné des chansons populaires datant des années 50-60. Leur familiarité pourrait avoir permis de faciliter la synchronisation et la production de comportements non verbaux des participants. Bien que nous ayons contrôlé que les participants reconnaissaient la chanson dans l'étude 2 (**étude 2 chapitre 7 annexe**), ce contrôle n'a pas été fait dans l'étude 1.

9.2.2.1. Perspectives

Une comparaison des comportements produits en réponse à des chansons familières et non-familières (présentant les mêmes caractéristiques) au cours d'une tâche de synchronisation devrait être réalisée chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. Cette comparaison permettrait de vérifier si la familiarité des extraits musicaux améliore la performance de synchronisation et augmente la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle ainsi que la production spontanée de mouvements rythmiques dans cette population.

9.2.3. Eveil (arousal) et valence

Dans nos deux études, les participants écoutaient des chansons plutôt que des extraits instrumentaux. Ce choix a été réalisé car l'écoute d'une chanson augmente plus l'arousal de l'auditeur que l'écoute du même extrait instrumental sans voix humaine (Loui, Bachorik, Li, & Schlaug, 2013). Ainsi, la chanson pouvait entraîner davantage d'engagement à la musique. Etant donné la précision de la synchronisation du chant des musiciens par rapport au rythme de

la musique dans nos études, la performance de chant ne devrait pas avoir eu d'impact sur la synchronisation des participants au rythme de la musique comme le suggèrent plusieurs études (Dalla Bella, Białuńska, & Sowiński, 2013; Białuńska & Dalla Bella, 2017). De plus, nous avons porté une attention à la saillance des beats des extraits musicaux choisis dans nos études afin de faciliter la synchronisation des participants (effet *groove*, Janata, Tomic, & Haberman, 2012; Leow, Parrott, & Grahn, 2014).

Les extraits musicaux sélectionnés pour les deux études ont été choisis pour être dynamiques et joyeux. Cependant, nous n'avons pas contrôlé l'*arousal*, ni la valence de ces chansons de manière expérimentale. Or, de nombreuses études rapportent l'influence de ces paramètres propres à la musique sur le comportement des auditeurs. En effet, l'*arousal* et la valence des chansons (Khalifa, Roy, Rainville, Dalla Bella, & Peretz, 2008; Juslin, Harmat, & Eerola, 2014) mais aussi le mode (Dalla Bella, Peretz, Rousseau, & Gosselin, 2001; Webster & Weir, 2005) et l'effet *groove* (Janata et al., 2012; Leow et al., 2014) sont quelques paramètres de la musique qui ont démontré un impact sur les comportements non verbaux, l'état émotionnel et les réponses motrices à la musique. Par conséquent, l'*arousal* et la valence des différentes chansons sélectionnés dans nos études pourraient avoir modulé différemment les comportements non verbaux analysés et peut-être aussi la performance de synchronisation.

9.2.3.1. Perspectives

Plusieurs études ont démontré que l'*arousal* émotionnel induit par la musique influence l'activité électrodermale, le rythme cardiaque et la respiration (Salimpoor, Benovoy, Longo, Cooperstock, & Zatorre, 2009; Sequeira, Hot, Silvert, & Delplanque, 2009; Hodges, 2011) mais aussi l'activité zygomatique liée aux expressions faciales (Khalifa et al., 2008). L'influence de l'*arousal* et de la valence de la musique sur les expressions faciales émotionnelles est notamment mise en évidence à travers un effet de contagion émotionnelle montrant que les émotions transmises par la musique étaient mimées par les auditeurs à travers leurs expressions faciales (Juslin, 2001). Ainsi, une évaluation de l'*arousal* et de la valence des chansons sélectionnées permettrait d'examiner l'influence de ces facteurs sur la fréquence des EFE au cours de nos études. De plus une comparaison des performances de synchronisation et des comportements non verbaux produits en réponse à une chanson et à une musique instrumentale permettrait de vérifier l'effet de l'*arousal* induit par la voix sur ces comportements chez les participants.

L'examen de ces différents facteurs liés à la musique et à ses caractéristiques temporelles nous permettrait d'approfondir les connaissances sur les éléments de la musique pouvant améliorer les performances de synchronisation et augmenter la production spontanée des comportements non verbaux chez des personnes atteintes de la MA lors des interventions musicales.

9.3. Impact de la maladie d'Alzheimer sur les réponses à la musique

9.3.1. Complexité de la tâche

Dans l'**étude 2**, la comparaison des comportements entre des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer (ou maladies apparentées) à des stades modérés et des participants contrôles lors de la tâche de synchronisation au rythme de la musique a mis en évidence que les performances de synchronisation (constance et asynchronies signées) et le tapping moteur spontané (moyenne des ITIs et CV des ITIs) ne différaient pas entre les groupes (**étude 2 chapitre 6**). Ainsi, il semble que les processus liés au couplage audio-moteur à travers cette tâche de synchronisation soient préservés dans la maladie d'Alzheimer (à ces stades de la maladie) par comparaison au groupe contrôle.

L'absence de différence de performance de synchronisation entre les groupes MA et contrôle diverge toutefois des résultats obtenus dans d'autres études rapportant une variabilité plus élevée de la synchronisation aux beats du métronome chez des personnes atteintes de la MA que chez des contrôles dans une tâche de continuation (Bangert & Balota, 2012; Martin, Blais, Albaret, Pariente, & Tallet, 2017). Cependant, ces études utilisaient des tâches plus complexes (continuation de phase, allongement des intervalles et tâche bimanuelle) que dans ce travail de thèse, pouvant entraîner un effort cognitif plus important. Ainsi, dans cette thèse, nous avons démontré que les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer sont capables de se synchroniser aussi bien que des personnes présentant un vieillissement physiologique 'normal'. Ceci pourrait notamment contribuer au plaisir de bouger au rythme de la musique au cours des interventions musicales. Toutefois, l'impact de la maladie (dans les stades modérés) sur la performance de synchronisation pourrait apparaître en augmentant la difficulté de la tâche. En effet, dans le processus de synchronisation, la prédiction temporelle implique l'attention, la mémoire de travail et les fonctions exécutives comme le rapportent plusieurs études (Bailey & Penhune, 2010, 2012; Pecenka, Engel, & Keller, 2013; Colley, Keller, & Halpern, 2018). Or, ces fonctions sont altérées dans la maladie d'Alzheimer (Baddeley, Bressi, Della Sala, Logie,

& Spinnler, 1991; Perry & Hodges, 1999; Sheridan, Solomont, Kowall, & Hausdorff, 2003; Baudic et al., 2006; Belleville, Chertkow, & Gauthier, 2007; Marshall et al., 2011), ce qui est aussi le cas chez les participants atteints de la MA dans notre étude. Néanmoins, aucun lien n'a été trouvé entre la sévérité des troubles cognitifs de nos participants et les performances de synchronisation. Il est possible toutefois que l'augmentation de l'effort cognitif liée à la tâche de synchronisation mette en évidence l'impact de la maladie sur la performance.

9.3.1.1. Perspectives

Comme mis en évidence ci-dessus, la tâche de synchronisation telle que nous l'avons utilisée dans nos études ne montre pas d'impact de la MA (dans les stades modérés). Néanmoins, l'inclusion de variations du tempo au cours des séquences auditives nous permettrait d'étudier les capacités d'adaptation et de prédiction temporelle des personnes atteintes de la MA par comparaison aux participants contrôles comme cela a été partiellement réalisé auparavant avec le métronome (Bangert & Balota, 2012). Cette tâche augmenterait la complexité de la synchronisation et pourrait mettre en évidence les limites des capacités de synchronisation causée par la maladie d'Alzheimer. De plus, en examinant les comportements non verbaux, nous pourrions vérifier si l'augmentation de l'effort cognitif a un impact sur l'engagement rythmique, social et émotionnel des participants au cours de la tâche. Ces informations nous permettraient de mettre en place des activités musicales adaptées au profil des participants afin de ne pas les frustrer et dans le but d'améliorer l'efficacité de celles-ci sur le comportement.

9.3.2. Troubles thymiques

Un impact de la maladie a été trouvé sur la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle montrant que la fréquence des EFE+ et l'intensité de l'engagement à la musique (évaluation subjective des décodeurs) étaient moins élevées chez les personnes atteintes de la MA que chez les participants contrôles (**étude 2 chapitre 7**). En plus des effets de la maladie, l'humeur (évaluée par le score de la STAI) des participants réduisait la production de ces comportements (intensité de l'engagement) comme le montrent les résultats d'une régression dans cette même étude. Ce résultat suggère que les troubles de l'humeur pourraient avoir une influence sur la production des comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle et liés à la musique. En effet, la dépression, l'apathie et l'anxiété sont fréquemment observées dans la maladie d'Alzheimer (Bungener, Jouvent, &

Derouesné, 1996; Thomas et al., 2002; Starkstein, Jorge, Mizrahi, & Robinson, 2005; Mograbi & Morris, 2014) et en particulier chez les personnes vivant en maison de repos (Djernes, 2006). De plus, les niveaux de dépression, d'anxiété et d'apathie peuvent moduler différemment les réponses à la musique chez des personnes atteintes de la MA ou de maladies apparentées comme le rapportent Garrido, Stevens, Chang, Dunne, & Perz (2018). Par conséquent, il est probable que ces troubles thymiques aient influencé nos résultats en particulier au niveau des comportements non verbaux comme les EFE+ par exemple, qui sont liées aux émotions et dont la fréquence diminue avec la maladie.

9.3.2.1. Perspectives

Par faute de temps disponible sur le terrain, nous n'avons pas eu la possibilité d'administrer d'autres questionnaires évaluant l'humeur que la STAI auprès des participants de l'étude 2. Cependant, l'utilisation de questionnaires spécifiques à l'évaluation de chaque trouble thymique (dépression, anxiété, apathie), comme le montrent Garrido et al. (2018), nous permettrait de contrôler les effets de ces troubles sur les réponses comportementales à la musique chez les participants. L'examen de l'impact de ces différents troubles thymiques sur le comportement des participants nous aiderait à mieux adapter les interventions musicales en fonction du profil du patient.

Par ailleurs, l'utilisation de scores de dépression, d'anxiété et d'apathie pourrait être mise en relation avec l'examen des effets des interventions musicales sur des mesures physiologiques comme le suggèrent plusieurs études (Chanda & Levitin, 2013; Fancourt, Ockelford, & Belai, 2014 pour une revue). De nombreux travaux rapportent que les interventions musicales réduisent le taux de cortisol, hormone liée au stress, chez les participants et modulent l'activité de la cytokine, neuropeptide impliqué dans la réponse immunitaire (Fancourt et al., 2014 pour une revue). Des études ont également mis en évidence les effets de l'activité de synchronisation et du chant sur ces mesures physiologiques en lien avec la réduction de la dépression et de l'anxiété (Fancourt, Perkins, et al., 2016; Fancourt, Williamon, et al., 2016). Cependant, les effets des interventions musicales sur les mesures physiologiques auprès de personnes atteintes de la MA n'ont pas montré encore de résultats (Takahashi & Matsushita, 2006; Chu et al., 2014). Un intérêt pour cette question permettrait de vérifier si l'activité de synchronisation au rythme de la musique peut moduler les réponses physiologiques et améliorer l'humeur en procurant du plaisir aux personnes atteintes d'une maladie d'Alzheimer.

9.3.3. Comportements moteurs spontanés

La QOM inclut l'ensemble des comportements moteurs produits pendant l'activité. Elle comprend donc les mouvements rythmiques spontanés de la tête et des lèvres de même que l'intensité de l'engagement à la musique et les mouvements non rythmiques. Bien qu'un impact de la MA a été trouvé sur la QOM et l'intensité de l'engagement en réponse à la musique par comparaison au groupe contrôle, aucun effet de la maladie n'a été observé sur les mouvements rythmiques spontanés de la tête ou des lèvres, ni sur les mouvements non rythmiques (**étude 2 chapitre 7**). Cette divergence de résultats montre que chaque comportement moteur spécifique peut être influencé différemment par les séquences auditives et le contexte social. Par exemple, dans l'**étude 1**, la musique augmente la production spontanée de mouvements rythmiques des membres inférieurs et des lèvres par comparaison au métronome alors que la production de mouvements non rythmiques était plus importante en réponse au métronome qu'à la musique. De même, dans l'**étude 2**, la présence physique du chanteur augmente la production spontanée des mouvements rythmiques des lèvres mais pas de la tête, ni l'intensité de l'engagement, ni les mouvements non rythmiques par comparaison à l'enregistrement. Ainsi, bien que la QOM semble être une mesure fiable de l'engagement moteur à la musique (**Annexe 1**), cette mesure doit s'accompagner d'une évaluation de comportements spécifiques. Ces informations complémentaires apportent des nuances quant à l'influence de la maladie, de la musique et du contexte social sur l'engagement moteur et rythmique des participants.

9.3.4. Evolution des comportements dans la maladie

Les résultats de cette thèse révèlent que même si la maladie d'Alzheimer réduit l'engagement social et émotionnel et l'activité motrice (QOM) en réponse à la musique par comparaison au vieillissement physiologique, la maladie (à des stades modérés) n'a pas d'impact sur l'engagement rythmique, ni sur les performances de synchronisation. De plus, l'effet du contexte social sur les EFE+ et sur les mouvements rythmiques spontanés des lèvres (aussi attribués à des productions de chant) a été trouvé tant chez les personnes atteintes de la MA que chez les participants contrôles (**étude 2 chapitre 7**). Ainsi, les personnes atteintes de la MA à des stades modérés sont capables de bouger, de chanter et de se synchroniser au rythme de la musique comme des personnes avec un vieillissement physiologique 'normal'.

Il est à noter toutefois que la fréquence des EFE+ et la performance de synchronisation au rythme de la musique diminuent dans les stades plus avancés de la maladie par comparaison

aux stades modérés (**chapitre 8**). Comme la maladie dans les stades modérés réduit la fréquence des EFE+ et l'intensité de l'engagement à la musique par comparaison au vieillissement 'normal', cela suggère que la réduction de l'engagement social et émotionnel arrive rapidement après l'apparition de la maladie et continue à régresser dans les stades avancés. En revanche, comme aucune différence n'a été remarquée sur la synchronisation entre les personnes atteintes de la MA dans les stades modérés et les participants contrôles, il semble que la maladie diminue plus tardivement la performance de synchronisation. Néanmoins, les résultats des différentes études de cette thèse mettent en évidence que l'activité conjointe de synchronisation, en particulier en présence physique d'un chanteur, module l'engagement rythmique, social et émotionnel des personnes atteintes de la MA même à des stades avancés et pourrait renforcer les liens sociaux des participants comme suggéré auparavant (Cason, Schiaratura, & Samson, 2017; Baird & Thompson, 2018). Enfin, nous avons observé que l'avancée en âge réduisait l'activité motrice en réponse à la musique tant dans le vieillissement normal que pathologique (**étude 1 chapitre 4 ; étude 2 chapitre 6**) suggérant que le vieillissement pourrait également affecter la production de certains comportements au cours des interventions musicales.

9.3.5. Groupe contrôle

L'absence de différence entre les groupes MA et contrôle principalement au niveau des performances de synchronisation suscite une réflexion au niveau de la formation du groupe contrôle. Les participants inclus comme contrôles ne présentaient peu ou pas de troubles cognitifs. Cependant, la plupart de ces participants étaient venus à l'hôpital de jour pour des problèmes liés à la marche ou à des risques de chutes. Or, les troubles moteurs ont été démontrés pour être des prédicteurs du déclin cognitif et du diagnostic de la maladie de Parkinson, voire de la maladie d'Alzheimer (Verghese, Wang, Lipton, Holtzer, & Xue, 2007; Buracchio, Dodge, Howieson, Wasserman, & Kaye, 2010; Albers et al., 2015; Belghali, Chastan, Cignetti, Davenne, & Decker, 2017). En absence de preuves liées à des biomarqueurs, il est parfois difficile de poser un diagnostic surtout aux stades débutants de la maladie. Ainsi, suite au manque de moyens disponibles ou à l'opposition du patient pour réaliser de tels examens, certains patients de notre étude pourraient correspondre à des faux négatifs ou à des faux positifs. Cependant, grâce à l'examen de chaque patient par une équipe pluridisciplinaire spécialisée dans l'évaluation du diagnostic différentiel des maladies neurodégénératives, ce biais semble peu vraisemblable.

9.4. Conclusion et perspectives cliniques

L'implication multimodale de la synchronisation au rythme de la musique au niveau moteur, rythmique, émotionnel, social et cognitif pourrait procurer du plaisir comme suggéré précédemment (cf. 2.6. Is music special for people with dementia ?; Trost, Labbé, & Grandjean, 2017). Cette activité de synchronisation, particulièrement en groupe, pourrait renforcer les liens sociaux et le bien-être des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. Ainsi, nous avons étudié dans cette thèse les différents aspects des réponses à la musique au cours d'une activité conjointe de synchronisation au rythme de la musique chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer et chez des personnes présentant un vieillissement physiologique 'normal'. Pour ce faire, nous avons utilisé une approche pluridisciplinaire incluant les sciences du mouvement, la psychologie sociale et la neuropsychologie permettant d'analyser le comportement en réponse à l'activité musicale sous différentes perspectives (motrice, rythmique, sociale et émotionnelle). Ainsi, cette méthode innovante nous a permis de valider différentes mesures comportementales au niveau des comportements non verbaux liés au rythme (synchronisation du tapping de la main, QOM, mouvements de la tête et des lèvres) et liés à la qualité de la relation sociale et émotionnelle (EFE, durée et direction du regard et intensité de l'engagement). Ces mesures apportent des informations complémentaires qui n'avaient pas encore été associées auparavant chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. Suite à leur mise en relation, nous avons trouvé un lien entre des mouvements rythmiques et des réponses liées à des affects positifs suggérant que bouger au rythme de la musique pourrait être plaisant pour les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. Par exemple, nous avons montré que la durée de mouvements rythmiques de la tête est liée à la fréquence des EFE+ (**étude 1 chapitre 5**) de même que la fréquence des EFE+ est liée à l'intensité de l'engagement social et à la musique (**étude 2 chapitre 7**) et que l'activité motrice (QOM) influence la fréquence des EFE+ (**Annexe 1**). De plus, nos résultats révèlent que ces comportements peuvent être influencés par la progression de la maladie d'Alzheimer (**chapitre 8**) et par l'avancée en âge (**étude 1 chapitre 4 ; étude 2 chapitre 6**).

Ce travail a aussi mis en évidence des avancées théoriques permettant de mieux comprendre l'influence de l'interaction sociale, de la musique (et de ses caractéristiques temporelles) et de la maladie d'Alzheimer sur la réponse comportementale au cours des interventions musicales. En effet, nous avons montré que les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer ne démontrent pas de différence de performances de synchronisation au rythme de la musique par comparaison à des participants contrôles suggérant que le couplage audio-moteur est en partie

préservé dans cette population. Cependant, nous avons trouvé que l'impact de la maladie sur la synchronisation se marque plus tardivement alors que l'impact sur les EFE+ et sur la QOM arrive rapidement après l'apparition de la maladie. Nos résultats ont également montré que la musique augmente l'engagement rythmique, social et émotionnel des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer même à des stades avancés par comparaison au métronome. Nous avons aussi mis en évidence que cette activité réalisée en action conjointe avec un partenaire physiquement présent augmente la qualité de la relation sociale et émotionnelle ainsi que l'engagement à la musique par comparaison à un enregistrement tant chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer que chez des participants avec un vieillissement 'normal'. De plus, ce même effet pouvait être modulé par le tempo et la métrique de la musique. Par conséquent, les connaissances théoriques acquises par ce travail permettent de mieux comprendre l'évolution des comportements produits en réponse à la musique dans la maladie d'Alzheimer et l'influence du contexte social et des caractéristiques temporelles de la musique sur ces comportements. La méthode pluridisciplinaire mise au point par cette thèse offre ainsi l'opportunité d'évaluer les bénéfices thérapeutiques des interventions musicales dans le cadre d'essais cliniques à différents niveaux sur le comportement des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. De telles perspectives permettraient notamment d'améliorer la prise en charge de ces personnes et de leurs aidants.

Les effets observés de l'action conjointe de synchronisation au rythme de la musique sur l'engagement rythmique, social et émotionnel ouvrent certaines perspectives cliniques. Face aux difficultés de communication verbale causées par la maladie d'Alzheimer qui augmentent l'isolement social (Klimova, Maresova, Valis, Hort, & Kuca, 2015), les interventions musicales de synchronisation en action conjointe pourraient être envisagées par exemple pour renforcer les liens sociaux et améliorer le bien-être des patients et de leur entourage (Cason et al., 2017; Baird & Thompson, 2018).

L'activité de synchronisation pourrait également être utilisée pour réduire le déclin cognitif chez ces personnes. L'attention, la mémoire de travail et les fonctions exécutives sont fréquemment altérées dans la maladie d'Alzheimer (Baddeley et al., 1991; Perry & Hodges, 1999; Sheridan et al., 2003; Baudic et al., 2006; Belleville et al., 2007; Marshall et al., 2011). Ces fonctions sont impliquées dans le processus de synchronisation comme le rapportent plusieurs études (Bailey & Penhune, 2010, 2012; Pecenka et al., 2013; Colley et al., 2018). Or, comme le couplage audio-moteur à travers une tâche de synchronisation au rythme de la musique semble en partie préservé dans la maladie d'Alzheimer, l'exercice de synchronisation

pourrait réduire le déclin de ces fonctions cognitives de la même manière que les interventions musicales de type actif modulent le fonctionnement cognitif (Särkämö et al., 2014).

Ce travail de thèse révèle également que l'action conjointe de synchronisation au rythme de la musique en présence physique d'un musicien augmente la production spontanée du chant (mouvements de lèvres) comme mode d'expression chez les participants par comparaison à la présentation d'un enregistrement. Comme le montrent de précédentes études, l'utilisation du chant et de musiques familières au cours des interventions musicales favorisent la communication des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer avec leur entourage (Götell, Brown, & Ekman, 2003, 2009; Dassa & Amir, 2014). Par conséquent, les effets de la synchronisation du chant au rythme de la musique ou entre les individus sur la qualité de la relation sociale et émotionnelle pourraient être examinés dans cette population en vue de mieux comprendre les facteurs favorisant le renforcement des liens sociaux et de la communication au cours des interventions musicales.

Nos résultats suggèrent aussi que le contexte virtuel pourrait présenter certains effets similaires à la présence physique d'un musicien sur les performances de synchronisation et sur l'engagement rythmique des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer lors d'interventions musicales. De plus, l'utilisation de l'écran semble amener le participant à s'exprimer plus librement que dans un face à face en présence physique d'un partenaire (Manstead et al., 2011; Philippot & Douilliez, 2011). Bien que ces résultats demandent une recherche plus avancée concernant les effets de l'écran sur la qualité de la relation sociale et émotionnelle chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer, l'utilisation de média pourrait être complémentaire à des interventions musicales réalisées en présence physique d'un musicien.

Malgré la possible réticence des personnes âgées à interagir avec de nouvelles technologies, il a été montré que les personnes atteintes de maladies neurodégénératives vivant en maison de repos interagissent verbalement et non verbalement avec des robots (Libin & Libin, 2004; Yamazaki, Nishio, Ogawa, & Ishigur, 2012; Khosla & Chu, 2013). De plus en plus de services de soins semblent également recourir à l'utilisation d'outils de télécommunication lors de la supervision des personnes atteintes de maladies neurodégénératives vivant à leur domicile comme le rapportent certaines études (Martínez-Alcalá, Pliego-Pastrana, Rosales-Lagarde, Lopez-Noguerola, & Molina-Trinidad, 2016 pour une revue). Par exemple, l'interaction avec un agent virtuel permet cette supervision notamment lors de la réalisation de tâches de la vie quotidienne (Casacci, Pistoia, Leone, Caroppo, & Siciliano, 2015). De même, la vidéoconférence peut apporter un encadrement et du soutien psychologique à l'entourage des

personnes atteintes de maladies neurodégénératives vivant à domicile afin de diminuer le stress et la dépression auprès des aidants (Finkel et al., 2007; Jordan, Silva, Nunes, & Oliveira, 2013). Toutefois, aucune étude n'a examiné à l'heure actuelle l'influence des outils de télécommunication directement sur la qualité de la relation sociale ou sur l'état émotionnel des patients atteints de la maladie d'Alzheimer par comparaison au face à face en présence physique d'un thérapeute ou d'un musicien.

La possibilité d'effectuer des activités musicales à distance grâce à l'utilisation de la vidéo ouvrirait l'offre d'interventions musicales à un large public. En effet, le recours à la vidéo-conférence permet de ne pas être limité par les problèmes de mobilité souvent rencontrés chez les personnes atteintes de maladies neurodégénératives. De plus, l'utilisation de cet outil de communication permettrait de produire des interventions musicales à une fréquence adaptable en fonction des besoins et du profil de la personne. Par conséquent, l'interaction sociale au travers de la vidéo-conférence, par exemple, pourrait réduire en partie l'isolement social présent chez des personnes en perte d'autonomie. De même, l'implication multisensorielle des activités musicales, en particulier au travers de la synchronisation des mouvements au rythme de la musique, permettrait de stimuler les personnes présentant une maladie d'Alzheimer ou maladies apparentées dans le but de maintenir leur autonomie et une qualité de vie satisfaisante à leur domicile.

Annexe 1 : Influence des performances de synchronisation sur les comportements non verbaux en réponse à la musique dans la maladie d'Alzheimer et dans le vieillissement physiologique

Introduction

Dans cette annexe, nous avons observé le lien qui pourrait exister entre les performances de synchronisation (SMS) et les comportements non verbaux dans l'**étude 2** afin de vérifier si les performances de SMS ou l'attention portée à la tâche de synchronisation modulent la production des comportements non verbaux (liés à la relation sociale et émotionnelle et liés au rythme de la musique) chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer (MA) et chez les participants avec un vieillissement physiologique 'normal'.

Dans l'**étude 2 (chapitre 6)**, de même que dans l'**étude 1 (chapitre 4)**, il n'y avait pas de lien observé entre la performance de SMS du tapping (constance et asynchronies) et l'engagement moteur évalué par la quantité de mouvements produits spontanément (*Quantity of Motion*, QOM) en réponse à la musique tant pour le groupe MA que pour le groupe contrôle. Cette absence de lien entre les performances de SMS et la QOM suggère que la qualité de la performance de synchronisation ne module pas la production des mouvements spontanés en réponse à la musique. Cependant, d'autres mesures de l'engagement moteur et/ou rythmique induit par l'activité de synchronisation ont toutefois été envisagées dans l'**étude 2 (chapitre 7)** à travers des mouvements rythmiques spontanés de la tête et des lèvres (en pourcentage de durée) ainsi que de l'intensité de l'engagement à la musique (échelle de Likert). Etant donné que la QOM inclut l'ensemble des comportements moteurs et/ou rythmiques, il est attendu que ces comportements soient liés à la QOM. De même, la performance de synchronisation pourrait être liée à ces comportements non verbaux (liés à la relation sociale et émotionnelle et mouvements rythmiques).

Au cours des différentes études (**études 1 et 2**), nous avons évoqué que les consignes liées à la tâche de synchronisation pourraient avoir modulé l'attention des participants afin qu'ils se concentrent sur la tâche. Cependant, l'attention à la synchronisation du tapping peut avoir réduit la production spontanée de mouvements rythmiques ainsi que la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle. Leow et al. (2017) ont montré par exemple

que l'attention portée à une tâche cognitive distractive réduit la vitesse de la marche en réponse à la musique. De même, Janata et ses collègues (2012) rapportent que le plaisir de bouger à la musique diminue quand les participants tapent avec leur main par comparaison à une expression libre des mouvements en réponse au rythme de la musique. Enfin, Leman (Leman, 2007) évoque le fait que l'effort cognitif pourrait réduire l'immersion dans l'expérience musicale. Par conséquent, l'examen du lien entre les performances de synchronisation et la production spontanée de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle (engagement social et émotionnel) et liés au rythme de la musique (engagement rythmique) nous permettrait de vérifier si les performances de synchronisation (ou l'attention accordée à la tâche de synchronisation) ont une influence sur l'engagement rythmique, social et émotionnel à la musique.

Nous avons donc comparé (1) les performances de synchronisation (constance et asynchronies signées), (2) la QOM, (3) la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle (EFE+, regard vers chanteur, intensité de l'engagement) ainsi que (4) la production spontanée de mouvements rythmiques (tête et lèvres) chez les participants atteints de la MA et chez les participants contrôles de l'étude 2. Pour cela, nous avons examiné uniquement les comportements obtenus dans les conditions de synchronisation au rythme de la musique (moyenne des conditions musicales).

Résultats

Régression

Une régression multiple (pas-à-pas) a été réalisée pour chaque groupe (N = 48 pour groupe MA, N = 49 pour groupe contrôle) afin de vérifier si les mesures de synchronisation (constance et asynchronies) peuvent prédire la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle (EFE+, regard vers chanteur, intensité de l'engagement) ainsi que la production spontanée de mouvements rythmiques (tête et lèvres) en réponse à la musique (moyenne des scores des conditions musicales). Cette régression a été réalisée par groupe afin d'observer si le déclin cognitif et moteur induit par la maladie pouvait influencer le lien entre les mesures de synchronisation et l'engagement rythmique, social et émotionnel induit par la musique. De manière complémentaire, nous avons ajouté la QOM aux prédicteurs afin de vérifier si un lien existe entre cette mesure et les comportements non verbaux.

Pour les EFE+ (fréquence/minute), le modèle de régression n'était pas significatif ni pour le groupe MA, ni pour le groupe contrôle.

Pour le regard vers le chanteur (pourcentage de durée), le modèle de régression n'était pas significatif ni pour le groupe MA, ni pour le groupe contrôle.

Pour l'intensité de l'engagement à la musique (échelle de Likert), le modèle de régression était significatif pour le groupe MA ($Adj R^2 = .26$, $F(1,46) = 17.81$, $p < .001$) mais pas pour le groupe contrôle. La QOM prédit l'intensité de l'engagement à la musique ($Beta = .53$, $p < .001$) mettant en évidence que plus l'intensité de l'engagement à la musique est élevée, plus la QOM est élevée.

Pour les mouvements rythmiques spontanés de la tête (pourcentage de durée), le modèle de régression n'était pas significatif ni pour le groupe MA, ni pour le groupe contrôle.

Pour les mouvements rythmiques spontanés des lèvres (production de chant, pourcentage de durée), le modèle de régression était significatif pour le groupe MA ($Adj R^2 = .10$, $F(1,46) = 6.41$, $p = .015$) mais pas pour le groupe contrôle. La QOM prédit le pourcentage de durée des mouvements des lèvres ($Beta = .35$, $p = .015$) mettant en évidence que plus la durée des mouvements rythmiques des lèvres est élevée, plus la QOM est élevée.

Discussion

L'absence de lien entre les mesures de synchronisation et la production de comportements non verbaux semble confirmer que la synchronisation du tapping n'est pas liée aux mesures d'engagement rythmique, social et émotionnel à la musique lors de l'activité conjointe de synchronisation. Cette absence de lien a été observée tant chez les personnes atteintes de la MA que chez les participants contrôles.

La QOM est toutefois liée à l'intensité de l'engagement, de même qu'aux mouvements rythmiques des lèvres en réponse à la musique. La mesure d'intensité correspond à une évaluation subjective de l'intensité de l'engagement à la musique par le décodeur sur base d'une échelle de Likert à quatre points (de « pas du tout engagé » à « très engagé »). Le lien entre ces mesures suggère que la QOM peut être considérée comme une mesure de l'engagement à la musique. Néanmoins, ce lien est plus important dans le groupe MA que dans le groupe contrôle montrant que l'activité motrice a plus d'impact sur l'engagement à la musique dans le groupe MA que dans le groupe contrôle. De plus, le lien entre les mouvements rythmiques des lèvres

(chant) et la QOM est plus important dans le groupe MA que dans le groupe contrôle suggérant que le chant pourrait être un mode d'expression particulièrement pertinent auprès des personnes atteintes de la MA dans l'évaluation de l'engagement à la musique. En effet, bien que le déclin cognitif dans la MA affecte la production orale (Schiaratura, 2008; Di Pastena, 2014; Schiaratura, Pastena, Askevis-Leherpeux, & Clément, 2015), les capacités de chant sont préservées dans la MA (Särkämö & Sihvonen, 2018). Par conséquent, le chant pourrait être utilisé pour renforcer les liens sociaux entre les partenaires, particulièrement dans la maladie d'Alzheimer, comme le montrent de précédentes études (Götell, Brown, & Ekman, 2003; Särkämö et al., 2014).

Analyse par groupe de performance de synchronisation

La variabilité inter-individuelle des performances de synchronisation des participants dans les deux groupes (MA et contrôle) pourrait expliquer l'absence d'effet de ces performances sur l'engagement rythmique, social et émotionnel à la musique. Dès lors, nous avons créé trois groupes homogènes en termes de performances de synchronisation. Étant donné l'absence de différence entre les groupes MA et contrôle sur la performance de synchronisation au rythme de la musique, nous avons divisé l'ensemble des participants en trois catégories : « *bons synchroniseurs* » ($N = 32$), « *synchroniseurs moyens* » ($N = 38$) et « *faibles synchroniseurs* » ($N = 27$) sur base de la moyenne et de l'écart-type de la constance de la synchronisation au rythme de la musique (Sowiński & Dalla Bella, 2013).

Des ANOVA pour chaque mesure (constance, asynchronies signées, QOM, fréquence des EFE+, pourcentage de durée du regard vers le chanteur, des mouvements de tête et des lèvres et intensité de l'engagement) en réponse à la musique (moyenne des conditions musicales) ont confirmé que ces trois groupes se différencient uniquement sur base de la constance (faibles synchroniseurs < synchroniseurs moyens < bons synchroniseurs, $p < .001$). Aucune autre différence significative n'a été trouvée entre les groupes. De plus, une ANOVA a également confirmé que les groupes ne se différencient pas au niveau du score MMSE (déclin cognitif).

Régression et discussion

Une régression multiple (pas-à-pas) a été réalisée par groupe de performances sur les EFE+, le regard vers le chanteur, l'intensité de l'engagement à la musique, les mouvements rythmiques spontanés de la tête et des lèvres avec comme prédicteurs les mesures de synchronisation

(constance de la SMS et asynchronies signées) ainsi que la QOM. L'analyse portait uniquement sur les conditions musicales (moyenne des conditions musicales).

Comportements liés à la relation sociale et/ou émotionnelle

1. Expressions faciales émotionnelles

Le modèle de régression était significatif dans le groupe de faibles synchroniseurs ($Adj R^2 = .35$, $F(2, 24) = 8.03$, $p = .002$) et moins dans le groupe de synchroniseurs moyens ($Adj R^2 = .08$, $F(1, 36) = 4.11$, $p = .050$) et dans le groupe de bons synchroniseurs ($Adj R^2 = .10$, $F(1, 30) = 4.27$, $p = .048$).

a) Bons synchroniseurs

La constance de la SMS prédit la fréquence des EFE+ ($Beta = -.35$, $p = .048$) mettant en évidence que plus la constance est élevée, plus la fréquence des EFE+ est faible (**Figure 1**). Ce résultat suggère que la performance élevée de SMS peut limiter la production de comportements liés à la qualité de la relation sociale et émotionnelle. Aucune influence n'a été observée de la part des asynchronies signées ou de la QOM.

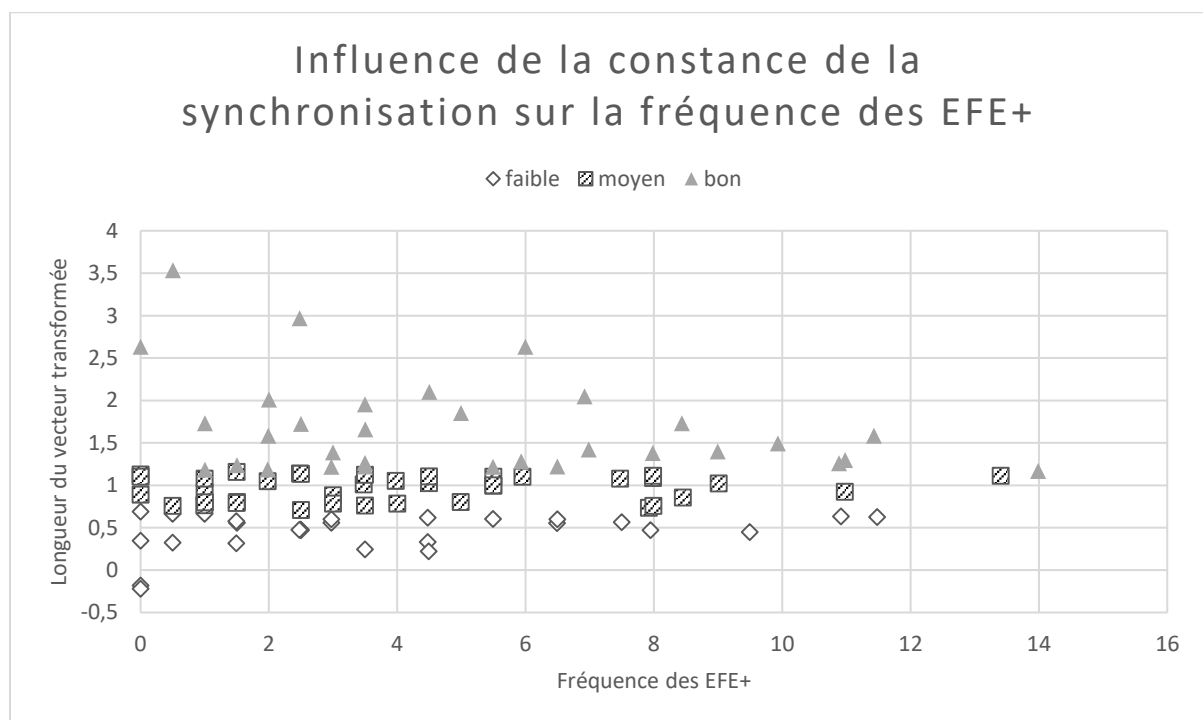


Figure 1. Dispersion de la constance de la SMS (longueur du vecteur transformée) en fonction de la fréquence des expressions faciales émotionnelles positives (EFE+) en réponse à la musique par groupe de performances (faible, moyen et bon)

b) Synchroniseurs moyens

Les asynchronies signées prédisent la fréquence des EFE+ ($Beta = .32, p = .050$) mettant en évidence que plus la tape est retardée, plus la fréquence des EFE+ est élevée. Ce résultat montre que le retard de la tape est plus lié à l'augmentation de production des EFE+ que l'anticipation du beat. Aucune influence significative n'a été observée de la part de la constance de la synchronisation, ni de la QOM.

c) Faibles synchroniseurs

La QOM prédit la fréquence des EFE+ ($Beta = .53, p = .003$) mettant en évidence que plus la QOM est élevée, plus la fréquence des EFE+ est élevée. Ce résultat suggère que l'augmentation de l'activité motrice en réponse à la musique est liée à la fréquence des EFE+. Cependant, aucune influence significative n'a été trouvée de la part de la constance de la SMS ou des asynchronies signées.

Ces résultats démontrent qu'en fonction de la qualité des performances de la SMS, celles-ci peuvent influencer la fréquence des EFE+ au cours d'une activité conjointe de synchronisation au rythme de la musique. En particulier, la qualité de la synchronisation chez les participants présentant des performances de SMS moyennes ou élevées peut moduler la fréquence des EFE+ au cours de la tâche alors qu'aucun lien n'a été observé chez les faibles synchroniseurs.

2. Regard vers le chanteur

Le modèle de régression était significatif dans le groupe de bons synchroniseurs ($Adj R^2 = .32, F(2,29) = 8.38, p = .001$) mais pas dans les autres groupes.

Les asynchronies signées prédisent la durée de regard vers le chanteur ($Beta = -.59, p < .001$) mettant en évidence que moins le participant regarde vers le chanteur, plus la tape est retardée. Ce résultat révèle que le regard vers le chanteur pendant la tâche de synchronisation au rythme de la musique peut moduler l'anticipation de la tape. Cependant, ce résultat n'a pas été trouvé ni dans le groupe de synchroniseurs moyens, ni dans le groupe de faibles synchroniseurs montrant que le regard vers le chanteur influençait seulement les participants avec des performances élevées de synchronisation.

3. Intensité de l'engagement

Le modèle de régression était significatif dans le groupe de synchroniseurs moyens ($Adj R^2 = .22, F(2,35) = 6.35, p = .004$) et dans le groupe de faibles synchroniseurs ($Adj R^2 = .19, F(1,25) = 7.19, p = .013$) mais pas dans le groupe de bons synchroniseurs.

La QOM prédit l'intensité de l'engagement à la musique dans le groupe de synchroniseurs moyens ($Beta = .49, p = .002$) et dans le groupe de faibles synchroniseurs ($Beta = .47, p = .013$) montrant que plus l'intensité de l'engagement est élevée, plus la QOM est élevée. Ces résultats mettent en évidence que la QOM et l'intensité de l'engagement sont liées. Cependant, le niveau élevé d'implication dans la tâche de synchronisation (bons synchroniseurs) pourrait limiter ce lien. Par conséquent, il est possible que la qualité de la synchronisation ait un impact sur ce résultat.

Production spontanée de mouvements rythmiques liés à la musique

1. Mouvements rythmiques de la tête

Le modèle de régression était significatif chez les synchroniseurs moyens ($Adj R^2 = .22, F(3,34) = 4.49, p = .009$) et chez les faibles synchroniseurs ($Adj R^2 = .17, F(2,24) = 3.59, p = .043$) mais pas chez les bons synchroniseurs.

Chez les synchroniseurs moyens, la QOM ($Beta = .41, p = .009$) et la constance de la SMS ($Beta = .31, p = .039$) prédisent la durée des mouvements rythmiques spontanés de la tête mettant en évidence que plus la QOM et la constance de la SMS en réponse à la musique sont élevées, plus la durée des mouvements de la tête est élevée. Chez les faibles synchroniseurs, bien que le modèle était significatif, aucun effet des prédicteurs n'était significatif.

Ces résultats suggèrent que la QOM et la constance de la SMS pourraient augmenter la production spontanée des mouvements rythmiques de la tête mais uniquement quand l'implication dans la tâche semble modérée.

2. Mouvements rythmiques des lèvres

Aucun résultat significatif n'a été trouvé parmi les trois groupes. Cette absence de résultat diverge des résultats trouvés en fonction des groupes MA et contrôle montrant que le lien entre la production de chant et la QOM est bien liée à la MA et non à la performance de synchronisation.

Discussion générale

Impact des performances de synchronisation sur les comportements non verbaux

Dans l'analyse par groupe MA et contrôle, nous avons observé que les performances de SMS n'ont pas d'influence sur la production de comportements non verbaux (liés à la relation sociale et émotionnelle et aux mouvements rythmiques spontanés). En revanche, sur base d'une analyse par groupe de performances, il semble que la qualité de la performance de synchronisation module la production des comportements liés à la relation sociale et émotionnelle.

Les résultats obtenus dans cette analyse par groupe de performances montrent par exemple que chez les bons synchroniseurs, la constance élevée de SMS peut limiter la fréquence des EFE+ en réponse à la musique. L'absence de ce lien dans les autres groupes de performances (moyens ou faibles) suggère que l'intensité de l'effort cognitif (ou de l'attention à la synchronisation) pourrait réduire l'expression émotionnelle associée à l'expérience musicale comme le rapportent plusieurs études (Leman, 2007; Janata et al., 2012; Leow et al., 2017).

Il est remarqué également que l'anticipation et le retard de la tape peuvent être liés à la production de comportements non verbaux. Par exemple, le retard de la tape est lié à une augmentation de la fréquence des EFE+ chez les synchroniseurs moyens alors que les bons synchroniseurs montrent que la durée de regard vers le chanteur pourrait être liée à l'anticipation de la tape. Cependant, aucun lien n'a été trouvé entre les mesures de synchronisation et les comportements non verbaux chez les faibles synchroniseurs. Ces résultats semblent mettre en évidence que l'anticipation de la synchronisation influence les comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle, particulièrement quand la concentration sur la tâche est importante. Cependant, l'anticipation de la tape (asynchronie négative) n'est pas forcément associée à une augmentation de la qualité de la relation sociale et émotionnelle mais peut-être le retard de la tape. Ce retard pourrait être lié à une adaptation bidirectionnelle des comportements non verbaux entre le participant et le chanteur, ce qui pourrait renforcer le lien social comme le montrent plusieurs études (Wiltermuth & Heath, 2009; Kirschner & Tomasello, 2010; Stupacher, Maes, et al., 2017; Stupacher, Wood, & Witte, 2017). Davantage de recherches devraient être réalisés sur ce lien chez des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer.

Enfin, les analyses par groupe MA et contrôle ainsi que par groupe de performances n'ont pas montré de lien entre les performances de synchronisation et la production spontanée de

mouvements rythmiques. Ceci met en évidence que la qualité de la synchronisation du tapping ou le degré d'attention à cette tâche de synchronisation n'a probablement pas d'influence sur les mouvements rythmiques spontanés. Cette dissociation entre la production de mouvements rythmiques planifiés et contrôlés par rapport à la production spontanée de mouvements rythmiques montre que ces comportements peuvent se rapporter à des mécanismes distincts comme le décrivent Repp et Su (2013).

Lien entre la QOM et les comportements non verbaux

L'analyse en fonction des groupes MA et contrôle a mis en évidence que la QOM est liée à l'intensité de l'engagement à la musique et aux mouvements rythmiques des lèvres davantage dans le groupe MA que dans le groupe contrôle. Ces résultats sont toutefois modulés par la performance de synchronisation. En effet, la QOM est liée à l'intensité de l'engagement mais plus chez les synchroniseurs moyens et faibles que chez les bons synchroniseurs. Ainsi, le déclin cognitif et les performances modérées ou faibles de SMS favorisent le lien entre la QOM et l'intensité de l'engagement à la musique. L'absence de ce lien entre ces deux mesures dans le groupe contrôle ou chez les participants avec des performances élevées de SMS suggère que l'intensité de l'engagement pourrait être liée davantage à d'autres mesures. Cependant, il faut rester prudent quant à l'interprétation de ces résultats étant donné que l'intensité de l'engagement est une mesure subjective obtenue à la fin du décodage de plusieurs autres comportements non verbaux pouvant entraîner un biais dans cette évaluation de l'engagement. En revanche, la QOM semble être une mesure fiable de l'intensité de l'engagement à la musique mais seulement pour certains profils de participants.

Le groupe MA montre également un lien entre la production de chant (mouvements rythmiques des lèvres) et la QOM. Ce lien n'a cependant pas été trouvé chez aucun des groupes de performances suggérant qu'il dépend davantage du déclin cognitif que du niveau de performance de synchronisation.

La QOM est également associée à d'autres comportements non verbaux. Cependant, ce lien est modulé en fonction des performances de SMS. En plus du lien avec l'intensité de l'engagement, la QOM est liée aux mouvements rythmiques spontanés de la tête chez les synchroniseurs moyens et est liée à la fréquence des EFE+ chez les faibles synchroniseurs. Ce lien entre les EFE+ et la QOM montre que le couplage audio-moteur en réponse à la musique peut être associé à des affectifs positifs. Néanmoins, seul le groupe de faibles synchroniseurs met en

évidence ce lien. Ainsi, en fonction du profil du participant, la QOM ou l'engagement moteur à la musique est liée différemment aux autres comportements.

Bien que les bons synchroniseurs ne montrent pas de lien entre la QOM avec d'autres comportements, il s'agit du seul groupe où la performance de synchronisation limite la production des EFE+. Par conséquent, la qualité des performances de SMS a un impact sur la relation sociale et émotionnelle confirmant que l'attention à la tâche de synchronisation pourrait limiter dans certains cas l'expression émotionnelle. Néanmoins, les performances élevées de SMS ne semblent pas empêcher les participants de bouger spontanément au rythme de la musique comme l'illustre l'absence de différence de production des comportements non verbaux entre les groupes de performances.

Conclusion

Dans cette section, nous avons mis en évidence que les performances de synchronisation peuvent avoir un impact sur la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle dans une activité conjointe de synchronisation au rythme de la musique. Cependant, cette influence serait peu observable sur base d'une analyse par groupe en fonction du vieillissement physiologique et pathologique au contraire d'un examen par groupe de performances de SMS. En effet, la variabilité inter-individuelle des performances de SMS dans les groupes MA et contrôle pourrait limiter les effets de celles-ci sur l'engagement rythmique, social et émotionnel dans l'activité musicale. Sur base de cette analyse par groupe de performances, nous avons trouvé que la qualité de la synchronisation peut moduler l'engagement social et émotionnel lors de la synchronisation au rythme de la musique suggérant qu'une attention modérée à la tâche de SMS ou une synchronisation plus automatique pourrait favoriser la qualité de la relation sociale et émotionnelle. Néanmoins, les performances élevées de synchronisation n'empêchent pas les participants de bouger spontanément au rythme de la musique montrant que l'attention à la tâche de synchronisation ne limite pas l'engagement rythmique. Nous avons trouvé également que les liens entre la production spontanée de mouvements en réponse à la musique et la production de comportements non verbaux liés à la relation sociale et émotionnelle sont modulés non seulement par la maladie d'Alzheimer mais aussi par la qualité des performances de synchronisation. Ainsi, ces résultats mettent en évidence que l'engagement rythmique, social et émotionnel à la musique est modulé par le profil du participant tant au niveau du déclin cognitif qu'au niveau de la performance de synchronisation ou de l'attention à la tâche de synchronisation.

Références

- Adolphs, R. (2009). The Social Brain: Neural Basis of Social Knowledge. *Annual Review of Psychology*, 60(1), 693–716.
- Albers, M. W., Gilmore, G. C., Kaye, J., Murphy, C., Wingfield, A., Bennett, D. A., ... Zhang, L. I. (2015). At the interface of sensory and motor dysfunctions and Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*, 11(1), 70–98.
- Albert, M. S., Cohen, C., & Koff, E. (1991). Perception of Affect in Patients with Dementia of the Alzheimer Type. *Archives of Neurology*, 48(8), 791–795.
- Anderson, S., Parbery-Clark, A., White-Schwoch, T., & Kraus, N. (2012). Aging Affects Neural Precision of Speech Encoding. *Journal of Neuroscience*, 32(41), 14156–14164.
- Argyle, M., & Ingham, R. (1972). Gaze, Mutual Gaze, and Proximity. *Semiotica*, 6(1), 32–49.
- Argyle, M., & Cook, M. (1976). *Gaze and mutual gaze*. Oxford, England: Cambridge University Press.
- Aschersleben, G. (2002). Temporal Control of Movements in Sensorimotor Synchronization. *Brain and Cognition*, 48(1), 66–79.
- Astell, A. J., & Ellis, M. P. (2006). The social function of imitation in severe dementia. *Infant and Child Development*, 15(3), 311–319.
- Baddeley, A. D., Bressi, S., Della Sala, S., Logie, R., & Spinnler, H. (1991). The Decline of Working Memory in Alzheimer's Disease: a Longitudinal Study. *Brain*, 114(6), 2521–2542.
- Bailey, J. A., & Penhune, V. B. (2010). Rhythm synchronization performance and auditory working memory in early- and late-trained musicians. *Experimental Brain Research*, 204(1), 91–101.
- Bailey, J., & Penhune, V. B. (2012). A sensitive period for musical training: Contributions of age of onset and cognitive abilities. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1252(1), 163–170.
- Baillieux, H., Smet, H. J. D., Paquier, P. F., De Deyn, P. P., & Mariën, P. (2008). Cerebellar neurocognition: Insights into the bottom of the brain. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, 110(8), 763–773.
- Baird, A., & Samson, S. (2009). Memory for Music in Alzheimer's Disease: Unforgettable? *Neuropsychology Review*, 19(1), 85–101.
- Baird, A., & Thompson, W. F. (2018). The Impact of Music on the Self in Dementia. *Journal of Alzheimer's Disease*, 61(3), 827–841.

- Bakkour, A., Morris, J. C., Wolk, D. A., & Dickerson, B. C. (2013). The effects of aging and Alzheimer's disease on cerebral cortical anatomy: Specificity and differential relationships with cognition. *NeuroImage*, *76*, 332–344.
- Bangert, A. S., & Balota, D. A. (2012). Keep Up the Pace: Declines in Simple Repetitive Timing Differentiate Healthy Aging from the Earliest Stages of Alzheimer's Disease. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *18*(6), 1052–1063.
- Barry, J., Ferguson, M., & Moore, D. (2010). Making sense of listening: The IMAP test battery. *Journal of Visualized Experiments*, *44*.
- Bastiaansen J. A. C. J., Thioux M., & Keysers C. (2009). Evidence for mirror systems in emotions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1528), 2391–2404.
- Baudic, S., Barba, G. D., Thibaudet, M. C., Smagghe, A., Remy, P., & Traykov, L. (2006). Executive function deficits in early Alzheimer's disease and their relations with episodic memory. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *21*(1), 15–21.
- Bédard, M., Molloy, D. W., Squire, L., Dubois, S., Lever, J. A., & O'Donnell, M. (2001). The Zarit Burden Interview: A New Short Version and Screening Version. *The Gerontologist*, *41*(5), 652–657.
- Bediou, B., Ryff, I., Mercier, B., Milliery, M., Hénaff, M.-A., D'Amato, T., ... Krolak-Salmon, P. (2009). Impaired Social Cognition in Mild Alzheimer Disease. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, *22*(2), 130–140.
- Bégel, V., Benoit, C.-E., Correa, A., Cutanda, D., Kotz, S. A., & Dalla Bella, S. (2017). “Lost in time” but still moving to the beat. *Neuropsychologia*, *94*, 129–138.
- Bégel, V., Verga, L., Benoit, C. E., Kotz, S. A., & Dalla Bella, S. (2018). Test-retest reliability of the Battery for the Assessment of Auditory Sensorimotor and Timing Abilities (BAASTA). *Annals of physical and rehabilitation medicine*, *61*(6), 395-400.
- Belghali, M., Chastan, N., Cignetti, F., Davenne, D., & Decker, L. M. (2017). Loss of gait control assessed by cognitive-motor dual-tasks: Pros and cons in detecting people at risk of developing Alzheimer's and Parkinson's diseases. *GeroScience*, *39*(3), 305–329.
- Belleville, S., Chertkow, H., & Gauthier, S. (2007). Working memory and control of attention in persons with Alzheimer's disease and mild cognitive impairment. *Neuropsychology*, *21*(4), 458–469.
- Bengtsson, S. L., Ullén, F., Henrik Ehrsson, H., Hashimoto, T., Kito, T., Naito, E., Forsberg, H., & Sadato, N. (2009). Listening to rhythms activates motor and premotor cortices. *Cortex*, *45*(1), 62–71.

- Benoit, C.-E., Dalla Bella, S., Farrugia, N., Obrig, H., Mainka, S., & Kotz, S. A. (2014). Musically Cued Gait-Training Improves Both Perceptual and Motor Timing in Parkinson's Disease. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 494.
- Benzinger, T. L. S., Blazey, T., Jack, C. R., Koeppe, R. A., Su, Y., Xiong, C., ... Morris, J. C. (2013). Regional variability of imaging biomarkers in autosomal dominant Alzheimer's disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(47), E4502–E4509.
- Bernardi, L., Porta, C., Casucci, G., Balsamo, R., Bernardi, N. F., Fogari, R., & Sleight, P. (2009). Dynamic interactions between musical, cardiovascular, and cerebral rhythms in humans. *Circulation*, *119*(25), 3171–3180.
- Bernardi, N. F., Bellemare-Pepin, A., & Peretz, I. (2017). Enhancement of pleasure during spontaneous dance. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*, 572.
- Bernieri, F. J., & Rosenthal, R. (1991). Interpersonal coordination: Behavior matching and interactional synchrony. In R.S. Feldman & B. Rimé (Eds.), *Studies in Emotion & Social Interaction. Fundamentals of nonverbal behavior* (pp. 401–432). Paris, France: Editions de la Maison des Sciences de l'Homme.
- Berrol, C. F. (2006). Neuroscience meets dance/movement therapy: Mirror neurons, the therapeutic process and empathy. *The Arts in Psychotherapy*, *33*(4), 302–315.
- Białuńska, A., & Dalla Bella, S. (2017). Music and speech distractors disrupt sensorimotor synchronization: Effects of musical training. *Experimental Brain Research*, *235*(12), 3619–3630.
- Bieńkiewicz, M. M. N., & Craig, C. M. (2015). Parkinson's Is Time on Your Side? Evidence for Difficulties with Sensorimotor Synchronization. *Frontiers in Neurology*, *6*, 249.
- Birks, J. (2006). Cholinesterase inhibitors for Alzheimer's disease. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, (1), CD005593.
- Blood, A. J., & Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *98*(20), 11818–11823.
- Bolton, T. L. (1894). Rhythm. *The American Journal of Psychology*, *6*(2), 145–238.
- Boltz, M. G. (1994). Changes in Internal Tempo and Effects on the Learning and Remembering of Event Durations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *20*(5), 1154–1171.
- Bood, R. J., Nijssen, M., van der Kamp, J., & Roerdink, M. (2013). The Power of Auditory-Motor Synchronization in Sports: Enhancing Running Performance by Coupling Cadence with the Right Beats. *PLOS ONE*, *8*(8), e70758.

- Bos, E. H., Bouhuys, A. L., Geerts, E., van Os, T. W. D. P., & Ormel, J. (2007). Stressful life events as a link between problems in nonverbal communication and recurrence of depression. *Journal of Affective Disorders*, *97*(1), 161–169.
- Bouwer, F. L., Zuijlen, T. L. V., & Honing, H. (2014). Beat Processing Is Pre-Attentive for Metrically Simple Rhythms with Clear Accents: An ERP Study. *PLOS ONE*, *9*(5), e97467.
- Bracken, C. C. (2005). Presence and Image Quality: The Case of High-Definition Television. *Media Psychology*, *7*(2), 191–205.
- Brochard, R., Abecasis, D., Potter, D., Ragot, R., & Drake, C. (2003). The “Ticktock” of Our Internal Clock: Direct Brain Evidence of Subjective Accents in Isochronous Sequences. *Psychological Science*, *14*(4), 362–366.
- Bungener, C., Jouvent, R., & Derouesné, C. (1996). Affective Disturbances in Alzheimer’s Disease. *Journal of the American Geriatrics Society*, *44*(9), 1066–1071.
- Buracchio, T., Dodge, H. H., Howieson, D., Wasserman, D., & Kaye, J. (2010). The Trajectory of Gait Speed Preceding Mild Cognitive Impairment. *Archives of Neurology*, *67*(8), 980–986.
- Burger, B., Thompson, M. R., Luck, G., Saarikallio, S., & Toiviainen, P. (2013). Influences of Rhythm- and Timbre-Related Musical Features on Characteristics of Music-Induced Movement. *Frontiers in Psychology*, *4*, 183.
- Burger, B., Thompson, M. R., Luck, G., Saarikallio, S. H., & Toiviainen, P. (2014). Hunting for the beat in the body: On period and phase locking in music-induced movement. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 903
- Burger, B., London, J., Thompson, M. R., & Toiviainen, P. (2018). Synchronization to metrical levels in music depends on low-frequency spectral components and tempo. *Psychological Research*, *82*(6), 1195–1211.
- Burgoon, J.K. and Dunbar, N.E. 2006. “Nonverbal expressions of dominance and power in human relationships”. In V. Manusov & M. L. Patterson (Eds), *The Sage Handbook of Nonverbal Communication* (pp. 279–297). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grèzes, J., Passingham, R. E., & Haggard, P. (2005). Action Observation and Acquired Motor Skills: An fMRI Study with Expert Dancers. *Cerebral Cortex*, *15*(8), 1243–1249.
- Cameron, D. J., & Grahn, J. A. (2014). Neuroscientific Investigations of Musical Rhythm. *Acoustics Australia*, *42*(2), 111.

- Cappella, J. N. (1997). Behavioral and judged coordination in adult informal social interactions: Vocal and kinesic indicators. *Journal of Personality and Social Psychology*, 72(1), 119–131.
- Caris-Verhallen, W. M. C. M., Kerkstra, A., & Bensing, J. M. (1999). Non-verbal behaviour in nurse–elderly patient communication. *Journal of Advanced Nursing*, 29(4), 808–818.
- Carrington, S. J., & Bailey, A. J. (2009). Are there theory of mind regions in the brain? A review of the neuroimaging literature. *Human Brain Mapping*, 30(8), 2313–2335.
- Casacci, P., Pistoia, M., Leone, A., Caroppo, A., & Siciliano, P. (2015). Alzheimer Patient's Home Rehabilitation Through ICT Advanced Technologies: The ALTRUISM Project. In B. Andò, P. Siciliano, V. Marletta, & A. Monteriù (Eds.), *Ambient Assisted Living: Italian Forum 2014* (pp. 377–385). Italy, Springer International Publishing.
- Cason, N., Schiaratura, L., & Samson, S. (2017). Synchronization to Music as a Tool for Enhancing Non-Verbal Communication in People with Neurological Diseases. In M. Lesaffre, P.-J. Maes & M. Leman (Eds.), *The Routledge Companion to embodied music interaction* (pp. 304–312). New York: Routledge
- Caussade, D., Henrich Bernardoni, N., Colletta, J.-M., & Vallée, N. (2015). Hand gestures and speech impairments in spoken and sung modalities in people with Alzheimer's disease. *Gesture and Speech in Interaction - 4th Edition (GESPIN 4)*. Presented at the Rennes, France.
- Ceccato, E., Vigato, G., Bonetto, C., Bevilacqua, A., Pizziolo, P., Crociani, S., Zanfretta, E., Pollini, L., Caneva, P. A., Baldin, L., Frongillo, C., Signorini, A., Demoro, S., & Barchi, E. (2012). STAM Protocol in Dementia: A Multicenter, Single-Blind, Randomized, and Controlled Trial. *American Journal of Alzheimer's Disease & Other Dementias®*, 27(5), 301–310.
- Cerejeira, J., Lagarto, L., & Mukaetova-Ladinska, E. (2012). Behavioral and Psychological Symptoms of Dementia. *Frontiers in Neurology*, 3, 1-21.
- Chapin, H. L., Zanto, T., Jantzen, K. J., Kelso, S., Steinberg, F., & Large, E. W. (2010). Neural responses to complex auditory rhythms: The role of attending. *Frontiers in Psychology*, 1, 224.
- Chartrand, T. L., & Bargh, J. A. (1999). The chameleon effect: The perception-behavior link and social interaction. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(6), 893–910.
- Chartrand, T. L., & Lakin, J. L. (2013). The Antecedents and Consequences of Human Behavioral Mimicry. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 285–308.

- Chen, J. L., Zatorre, R. J., & Penhune, V. B. (2006). Interactions between auditory and dorsal premotor cortex during synchronization to musical rhythms. *NeuroImage*, *32*(4), 1771–1781.
- Chen, J. L., Penhune, V. B., & Zatorre, R. J. (2008a). Moving on Time: Brain Network for Auditory-Motor Synchronization is Modulated by Rhythm Complexity and Musical Training. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*(2), 226–239.
- Chen, J. L., Penhune, V. B., & Zatorre, R. J. (2008b). Listening to Musical Rhythms Recruits Motor Regions of the Brain. *Cerebral Cortex*, *18*(12), 2844–2854.
- Choi, N. G., Hegel, M. T., Marti, C. N., Marinucci, M. L., Sirrianni, L., & Bruce, M. L. (2014). Telehealth Problem-Solving Therapy for Depressed Low-Income Homebound Older Adults. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, *22*(3), 263–271.
- Chu, H., Yang, C.-Y., Lin, Y., Ou, K.-L., Lee, T.-Y., O'Brien, A. P., & Chou, K.-R. (2014). The Impact of Group Music Therapy on Depression and Cognition in Elderly Persons With Dementia: A Randomized Controlled Study. *Biological Research For Nursing*, *16*(2), 209–217.
- Cirelli, L. K. (2018). How interpersonal synchrony facilitates early prosocial behavior. *Current Opinion in Psychology*, *20*, 35–39.
- Clark, H. H., & Krych, M. A. (2004). Speaking while monitoring addressees for understanding. *Journal of Memory and Language*, *50*(1), 62–81.
- Clayton, M., Sager, R., & Will, U. (2005). In time with the music: The concept of entrainment and its significance for ethnomusicology. *European Meetings in Ethnomusicology*, *11*, 3–142.
- Cohen De Cock, V., Dotov, D. G., Ihalainen, P., Bégel, V., Galtier, F., Lebrun, C., Picot, M. C., Driss, V., Landragin, N., Geny, C., Bardy, B., & Dalla Bella, S. (2018). Rhythmic abilities and musical training in Parkinson's disease: Do they help? *Npj Parkinson's Disease*, *4*(1), 8.
- Codrons, E., Bernardi, N. F., Vandoni, M., & Bernardi, L. (2014). Spontaneous Group Synchronization of Movements and Respiratory Rhythms. *PLOS ONE*, *9*(9), e107538.
- Collier, G. L., & Wright, C. E. (1995). Temporal rescaling of simple and complex ratios in rhythmic tapping. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *21*(3), 602–627.
- Colley, I. D., Keller, P. E., & Halpern, A. R. (2018). Working Memory and Auditory Imagery Predict Sensorimotor Synchronization with Expressively Timed Music. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *71*, 1781–1796.

- Cooke, M., Moyle, W., Shum, D., Harrison, S., & Murfield, J. (2010). A Randomized Controlled Trial Exploring the Effect of Music on Quality of Life and Depression in Older People with Dementia. *Journal of Health Psychology, 15*(5), 765–776.
- Cooper, G. W., & Meyer, L. B. (1960). *The Rhythmic Structure of Music*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Cosentino, S., Zahodne, L. B., Brandt, J., Blacker, D., Albert, M., Dubois, B., & Stern, Y. (2014). Social cognition in Alzheimer's disease: A separate construct contributing to dependence. *Alzheimer's & Dementia, 10*(6), 818–826.
- Coull, J. T., Cheng, R. K., & Meck, W. H. (2011). Neuroanatomical and neurochemical substrates of timing. *Neuropsychopharmacology, 36*(1), 3.
- Cousins, M. S., Corrow, C., Finn, M., & Salamone, J. D. (1998). Temporal Measures of Human Finger Tapping: Effects of Age. *Pharmacology Biochemistry and Behavior, 59*(2), 445–449.
- Croes, E. A. J., Antheunis, M. L., Schouten, A. P., & Krahmer, E. J. (2019). Social attraction in video-mediated communication: The role of nonverbal affiliative behavior. *Journal of Social and Personal Relationships, 36*(4), 1210–1232.
- Cross, I., & Morley, I. R. M. (2008). The evolution of music: Theories, definitions and the nature of the evidence. In S. Malloch & C. Trevarthen (Eds.), *Communicative Musicality* (pp. 61–81). New York: Oxford University Press.
- Cuddy, L. L., Sikka, R., & Vanstone, A. (2015). Preservation of musical memory and engagement in healthy aging and Alzheimer's disease. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1337*(1), 223–231.
- Cummings, J. L., Benson, F., Hill, M. A., & Read, S. (1985). Aphasia in dementia of the Alzheimer type. *Neurology, 35*(3), 394–397.
- Dalla Bella, S., Peretz, I., Rousseau, L., & Gosselin, N. (2001). A developmental study of the affective value of tempo and mode in music. *Cognition, 80*(3), B1–B10.
- Dalla Bella, S., Białuńska, A., & Sowiński, J. (2013). Why Movement Is Captured by Music, but Less by Speech: Role of Temporal Regularity. *PLOS ONE, 8*(8), e71945.
- Dalla Bella, S., Farrugia, N., Benoit, C.-E., Begel, V., Verga, L., Harding, E., & Kotz, S. A. (2017). BAASTA: Battery for the Assessment of Auditory Sensorimotor and Timing Abilities. *Behavior Research Methods, 49*(3), 1128–1145.
- Dalla Bella, S. D., Dotov, D., Bardy, B., & Cochen de Cock, V. C. (2018). Individualization of music-based rhythmic auditory cueing in Parkinson's disease. *Annals of the New York Academy of Sciences*.

- Dassa, A., & Amir, D. (2014). The Role of Singing Familiar Songs in Encouraging Conversation Among People with Middle to Late Stage Alzheimer's Disease. *Journal of Music Therapy, 51*(2), 131–153.
- Davis, M. H. (1983). Measuring individual differences in empathy: Evidence for a multidimensional approach. *Journal of Personality and Social Psychology, 44*(1), 113–126.
- De Bruyn, L., Leman, M., & Moelants, D. (2009). Does social interaction activate music listeners? In S. Ystad, R. Kronland-Martinet, & K. Jensen (Eds.), *Computer music, modeling and retrieval. Genesis of meaning of sound and music. Lecture notes in computer science*. (Vol. 5493, pp. 93–106). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- De Bruyn, L., Leman, M., Moelants, D., Demey, M., & Desmet, F. (2009). Measuring and quantifying the impact of social interaction on listeners' movement to music. In S. Ystad, R. Kronland-Martinet, & K. Jensen (Eds.), *Computer music modeling and retrieval: Genesis of meaning in sound and music. Proceedings of the 5th International Symposium on Computer Music Modeling and Retrieval* (pp. 298–305). Heidelberg, Germany: Springer.
- Delignières, D., & Torre, K. (2011). Event-Based and Emergent Timing: Dichotomy or Continuum? A Reply to Repp and Steinman (2010). *Journal of Motor Behavior, 43*(4), 311–318.
- DeLoache, J. S., Strauss, M. S., & Maynard, J. (1979). Picture perception in infancy. *Infant Behavior and Development, 2*, 77–89.
- Demiris, G., Parker Oliver, D., Wittenberg-Lyles, E., Washington, K., Doorenbos, A., Rue, T., & Berry, D. (2012). A Noninferiority Trial of a Problem-Solving Intervention for Hospice Caregivers: In Person versus Videophone. *Journal of Palliative Medicine, 15*(6), 653–660.
- Demos, A. P., Chaffin, R., Begosh, K. T., Daniels, J. R., & Marsh, K. L. (2012). Rocking to the beat: Effects of music and partner's movements on spontaneous interpersonal coordination. *Journal of Experimental Psychology: General, 141*(1), 49–53.
- Demos, A. P., Carter, D. J., Wanderley, M. M., & Palmer, C. (2017). The Unresponsive Partner: Roles of Social Status, Auditory Feedback, and Animacy in Coordination of Joint Music Performance. *Frontiers in Psychology, 8*, 149.
- de Paula, J. J., Albuquerque, M. R., Lage, G. M., Bicalho, M. A., Romano-Silva, M. A., & Malloy-Diniz, L. F. (2016). Impairment of fine motor dexterity in mild cognitive

- impairment and Alzheimer's disease dementia: Association with activities of daily living. *Brazilian Journal of Psychiatry*, 38(3), 235–238.
- DePaulo, B. M. (1978). Decoding discrepant nonverbal cues. *Journal of Personality and Social Psychology*, 36(3), 313–323.
- DePaulo, B. M., J. J. Lindsay, B. E. Malone, L. Muhlenbruck, K. Charlton, & H. Cooper. (2003). Cues to deception. *Psychological Bulletin* 129: 74–118.
- de Ruiter, J. P. (2006). Can gesticulation help aphasic people speak, or rather, communicate? *Advances in Speech Language Pathology*, 8(2), 124–127.
- Desmet, F., Lesaffre, M., Six, J., Ehrlé, N., & Samson, S. (2017). Multimodal analysis of synchronization data from patients with dementia. In *Proceedings of the ESCOM 2017 conference*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1854/LU-8521738>
- Diedrichsen, J., Ivry, R., & Pressing, J. (2003). Cerebellar and Basal Ganglia Contributions to Interval Timing. In W. Meck (Ed.), *Functional and Neural Mechanisms of Interval Timing* (Vol. 19).
- Diener, M. L., Pierroutsakos, S. L., Troseth, G. L., & Roberts, A. (2008). Video Versus Reality: Infants' Attention and Affective Responses to Video and Live Presentations. *Media Psychology*, 11(3), 418–441.
- Di Pastena, A. (2014). *Communication verbale et non verbale dans la maladie d'Alzheimer : une atteinte globale ou différenciée ?* (Doctoral dissertation). Université Charles de Gaulle – Lille, France.
- Djernes, J. K. (2006). Prevalence and predictors of depression in populations of elderly: A review. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 113(5), 372–387.
- Bucks, R. S. & Radford, S. A. (2004). Emotion processing in Alzheimer's disease. *Aging & Mental Health*, 8(3), 222–232.
- Drake, C. (1993). Reproduction of musical rhythms by children, adult musicians, and adult nonmusicians. *Perception & Psychophysics*, 53(1), 25–33.
- Drake, C., Jones, M. R., & Baruch, C. (2000). The development of rhythmic attending in auditory sequences: Attunement, referent period, focal attending. *Cognition*, 77(3), 251–288.
- Drake, C., Penel, A., & Bigand, E. (2000). Tapping in Time with Mechanically and Expressively Performed Music. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 18(1), 1–23.

- Drapeau, J., Gosselin, N., Gagnon, L., Peretz, I., & Lorrain, D. (2009). Emotional Recognition from Face, Voice, and Music in Dementia of the Alzheimer Type. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 342–345.
- Dubois, B., Slachevsky, A., Litvan, I., & Pillon, B. (2000). The FAB: A frontal assessment battery at bedside. *Neurology*, 55(11), 1621–1626.
- Duchek, J. M., Balota, D. A., & Ferraro, F. R. (1994). Component Analysis of a Rhythmic Finger Tapping Task in Individuals With Senile Dementia of the Alzheimer Type and in Individuals With Parkinson's Disease. *Neuropsychology*, 8(218–226), 9.
- Edelmann, R. J., & Hampson, S. E. (1981). Embarrassment in dyadic interaction. *Social Behavior and Personality*, 9, 171-177.
- Eibl-Eibesfeldt, I. (1989). *Human Ethology*. New York: Aldine de Gruyter.
- Ekman, P., Friesen, W. V., & Ellsworth, P. (1972). *Emotion in the Human Face: Guidelines for Research and an Integration of Findings*. Elsevier.
- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1978). Facial Action Coding System: A technique for the measurement of facial movement. *A Human Face*. Retrieved from <https://ci.nii.ac.jp/naid/10025007347/>
- Ekman, P. (1982). *Emotion in the human face* (2nd ed.). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- El Haj, M., Fasotti, L., & Allain, P. (2012). The involuntary nature of music-evoked autobiographical memories in Alzheimer's disease. *Consciousness and Cognition*, 21(1), 238–246.
- Elliott, M. T., Wing, A. M., & Welchman, A. E. (2010). Multisensory cues improve sensorimotor synchronisation. *European Journal of Neuroscience*, 31(10), 1828–1835.
- Ellis, R. J., & Jones, M. R. (2009). The role of accent salience and joint accent structure in meter perception. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 35(1), 264–280.
- Eustache, F., Perrotin, A., Leblond, M., Gonneaud, J., Eustache, M.-L., Laisney, M. & Desgranges, B. (2014). Neuropsychologie de la maladie d'Alzheimer : du stade présymptomatique au stade sévère. In H. Amieva, S. Belliard & E. Salmon (Eds.), *Les démences : aspects cliniques, neuropsychologiques, physiopathologiques et thérapeutiques*. De Boeck-Solal, Paris, France : 39-66.
- Fairhurst, M. T., Janata, P., & Keller, P. E. (2014). Leading the follower: An fMRI investigation of dynamic cooperativity and leader–follower strategies in synchronization with an adaptive virtual partner. *NeuroImage*, 84, 688–697.

- Fancourt, D., Ockelford, A., & Belai, A. (2014). The psychoneuroimmunological effects of music: A systematic review and a new model. *Brain, Behavior, and Immunity*, *36*, 15–26.
- Fancourt, D., Perkins, R., Ascenso, S., Carvalho, L. A., Steptoe, A., & Williamon, A. (2016). Effects of Group Drumming Interventions on Anxiety, Depression, Social Resilience and Inflammatory Immune Response among Mental Health Service Users. *PLOS ONE*, *11*(3), e0151136.
- Fancourt, D., Williamon, A., Carvalho, L. A., Steptoe, A., Dow, R., & Lewis, I. (2016). Singing modulates mood, stress, cortisol, cytokine and neuropeptide activity in cancer patients and carers. *Ecancermedicalscience*, *10*.
- Fernández-Sotos, A., Fernández-Caballero, A., & Latorre, J. M. (2016). Influence of Tempo and Rhythmic Unit in Musical Emotion Regulation. *Frontiers in Computational Neuroscience*, *10*, 80.
- Ferreri, L., Mas-Herrero, E., Zatorre, R. J., Ripollés, P., Gomez-Andres, A., Alicart, H., Olivé, G., Marco-Pallarés, J., Antonijoan, R. M., Valle, M., Riba, J., & Rodriguez-Fornells, A. (2019). Dopamine modulates the reward experiences elicited by music. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201811878.
- Feyereisen, P. (1987). Gestures and speech, interactions and separations: A reply to McNeill (1985). *Psychological Review*, *94*(4), 493–498.
- Feyereisen, P. (1993). La communication non verbale chez les sujets déments de type Alzheimer. *Questions de Logopédie*, *27*, 67–68.
- Feyereisen, Pierre, Berrewaerts, J., & Hupet, M. (2007). Pragmatic skills in the early stages of Alzheimer's disease: An analysis by means of a referential communication task. *International Journal of Language & Communication Disorders*, *42*(1), 1–17.
- Finkel, S., Czaja, S. J., Martinovich, Z., Harris, C., Pezzuto, D., & Schulz, R. (2007). E-Care: A Telecommunications Technology Intervention for Family Caregivers of Dementia Patients. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, *15*(5), 443–448.
- Fischer-Lokou, J., Martin, A., Guéguen, N., & Lamy, L. (2011). Mimicry and Propagation of Prosocial Behavior in a Natural Setting. *Psychological Reports*, *108*(2), 599–605.
- Fisher, N. I. (1993). *Statistical analysis of circular data*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Fiske, S. T. (1993). Social Cognition and Social Perception. *Annual Review of Psychology*, *44*(1), 155–194.

- Flach, R. (2005). The transition from synchronization to continuation tapping. *Human Movement Science*, 24(4), 465–483.
- Flanagan, J. R., & Johansson, R. S. (2003). Action plans used in action observation. *Nature*, 424(6950), 769–771.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). Mini-mental state: A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189–198.
- Fraisse, P. (1956). *Les Structures Rythmiques: Étude Psychologique*. Paris-Bruxelles: Publications Universitaires de Louvain.
- Fraisse, P. (1982). Rhythm and tempo. In D. Deutsch (Ed.), *The Psychology of Music* (pp. 149–180). Orlando, FL: Academic.
- Freeth, M., Foulsham, T., & Kingstone, A. (2013). What Affects Social Attention? Social Presence, Eye Contact and Autistic Traits. *PLOS ONE*, 8(1), e53286.
- Frisoni, G. B., Fox, N. C., Jack Jr, C. R., Scheltens, P., & Thompson, P. M. (2010). The clinical use of structural MRI in Alzheimer disease. *Nature Reviews Neurology*, 6(2), 67–77.
- Fritz, T. H., Halfpaap, J., Grahl, S., Kirkland, A., & Villringer, A. (2013). Musical feedback during exercise machine workout enhances mood. *Frontiers in Psychology*, 4, 921.
- Fujii, S., & Oda, S. (2009). Effect of Stick Use on Rapid Unimanual Tapping in Drummers. *Perceptual and Motor Skills*, 108(3), 962–970.
- Fujioka, T., Trainor, L. J., Large, E. W., & Ross, B. (2009). Beta and Gamma Rhythms in Human Auditory Cortex during Musical Beat Processing. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 89–92.
- Fujioka, T., Zendel, B. R., & Ross, B. (2010). Endogenous Neuromagnetic Activity for Mental Hierarchy of Timing. *Journal of Neuroscience*, 30(9), 3458–3466.
- Fujioka, T., Trainor, L. J., Large, E. W., & Ross, B. (2012). Internalized Timing of Isochronous Sounds Is Represented in Neuromagnetic Beta Oscillations. *Journal of Neuroscience*, 32(5), 1791–1802.
- Garrido, S., Dunne, L., Chang, E., Perz, J., Stevens, C. J., & Haertsch, M. (2017). The Use of Music Playlists for People with Dementia: A Critical Synthesis. *Journal of Alzheimer's Disease*, 60(3), 1129–1142.
- Garrido, S., Stevens, C. J., Chang, E., Dunne, L., & Perz, J. (2018). Music and Dementia: Individual Differences in Response to Personalized Playlists. *Journal of Alzheimer's Disease*, 64(3), 933–941.

- Geiser, E., Sandmann, P., Jäncke, L., & Meyer, M. (2010). Refinement of metre perception – training increases hierarchical metre processing. *European Journal of Neuroscience*, 32(11), 1979–1985.
- Georges, J., Jansen, S., Jackson, J., Meyrieux, A., Sadowska, A., & Selmes, M. (2008). Alzheimer’s disease in real life – the dementia carer’s survey. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 23(5), 546–551.
- Ghai, S., Ghai, I., & Effenberg, A. O. (2018). Effect of Rhythmic Auditory Cueing on Aging Gait: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Aging and Disease*, 9(5), 901–923.
- Gibb, W. R., Mountjoy, C. Q., Mann, D. M., & Lees, A. J. (1989). The substantia nigra and ventral tegmental area in Alzheimer’s disease and Down’s syndrome. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 52(2), 193–200.
- Glosser, G., Wiley, M. J., & Barnoskir, E. J. (1998). Gestural Communication in Alzheimer’s Disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 20(1), 1–13.
- Goebel, W., & Palmer, C. (2009). Synchronization of Timing and Motion Among Performing Musicians. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 26(5), 427–438.
- Goodkind, M. S., Gyurak, A., McCarthy, M., Miller, B. L., & Levenson, R. W. (2010). Emotion regulation deficits in frontotemporal lobar degeneration and Alzheimer’s disease. *Psychology and Aging*, 25(1), 30–37.
- Gorus, E., De Raedt, R., Lambert, M., Lemper, J.-C., & Mets, T. (2008). Reaction Times and Performance Variability in Normal Aging, Mild Cognitive Impairment, and Alzheimer’s Disease. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 21(3), 204–218.
- Götell, E., Brown, S., & Ekman, S.-L. (2003). Influence of Caregiver Singing and Background Music on Posture, Movement, and Sensory Awareness in Dementia Care. *International Psychogeriatrics*, 15(4), 411–430.
- Götell, E., Brown, S., & Ekman, S.-L. (2009). The influence of caregiver singing and background music on vocally expressed emotions and moods in dementia care. *International Journal of Nursing Studies*, 46(4), 422–430.
- Graham, J. A., & Argyle, M. (1975). A cross-cultural study of the communication of extra-verbal meaning by gestures(1). *International Journal of Psychology*, 10(1), 57–67.
- Grahn, J. A., & Brett, M. (2007). Rhythm and Beat Perception in Motor Areas of the Brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(5), 893–906.
- Grahn, J. A. (2009). The Role of the Basal Ganglia in Beat Perception. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 35–45.

- Grahn, J. A., & Rowe, J. B. (2009). Feeling the Beat: Premotor and Striatal Interactions in Musicians and Nonmusicians during Beat Perception. *Journal of Neuroscience*, 29(23), 7540–7548.
- Gregory, C., Lough, S., Stone, V., Erzinclioglu, S., Martin, L., Baron-Cohen, S., & Hodges, J. R. (2002). Theory of mind in patients with frontal variant frontotemporal dementia and Alzheimer's disease: Theoretical and practical implications. *Brain*, 125(4), 752–764.
- Guerin, B. (1986). Mere presence effects in humans: A review. *Journal of Experimental Social Psychology*, 22(1), 38–77.
- Guétin, S., Portet, F., Picot, M. C., Pommié, C., Messaoudi, M., Djabelkir, L., Olsen, A. L., Cano, M. M., Lecourt, E., & Touchon, J. (2009). Effect of Music Therapy on Anxiety and Depression in Patients with Alzheimer's Type Dementia: Randomised, Controlled Study. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 28(1), 36–46.
- Gullberg, M., & Holmqvist, K. (2006). What speakers do and what addressees look at: Visual attention to gestures in human interaction live and on video. *Pragmatics & Cognition*, 14(1), 53–82.
- Hall, J. A., Coats, E. J., Pa, B. C., & Lebeau, L. S. (2005). Nonverbal behavior and the vertical dimension of social relations: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 898–924.
- Halpern, A. R. (2015). Differences in Auditory Imagery Self-Report Predict Neural and Behavioral Outcomes. *Psychomusicology*, 25(1), 37.
- Hardy, J. A., & Higgins, G. A. (1992). Alzheimer's Disease: The Amyloid Cascade Hypothesis. *Science*, 256(5054), 184.
- Hargrave, R., Maddock, R. J., & Stone, V. (2002). Impaired Recognition of Facial Expressions of Emotion in Alzheimer's Disease. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 14(1), 64–71.
- Hasson, U., Ghazanfar, A. A., Galantucci, B., Garrod, S., & Keysers, C. (2012). Brain-to-brain coupling: A mechanism for creating and sharing a social world. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(2), 114–121.
- Haute Autorité de Santé (HAS). Communiqué de Presse de la Commission de Transparence du 21 octobre 2016. Médicaments de la maladie d'Alzheimer : un intérêt médical insuffisant pour justifier leur prise en charge par la solidarité nationale. Saint Denis la Plaine. https://www.has-sante.fr/jcms/c_2679466/fr/medicaments-de-la-maladie-d-alzheimer-un-interet-medical-insuffisant-pour-justifier-leur-prise-en-charge-par-la-solidarite-nationale

- Henry, J. D., Ruffman, T., McDonald, S., O’Leary, M.-A. P., Phillips, L. H., Brodaty, H., & Rendell, P. G. (2008). Recognition of disgust is selectively preserved in Alzheimer’s disease. *Neuropsychologia*, *46*(5), 1363–1370.
- Hodges, D. A. (2011). Psychophysiological measures. In P. N. Juslin & J. Sloboda (Eds.), *Handbook of music and emotion: Theory, research, applications* (pp. 279-312). New York: Oxford University Press.
- Holmes, C., Knights, A., Dean, C., Hodkinson, S., & Hopkins, V. (2006). Keep music live: Music and the alleviation of apathy in dementia subjects. *International Psychogeriatrics*, *18*(4), 623–630.
- Hove, M. J., & Risen, J. L. (2009). It’s All in the Timing: Interpersonal Synchrony Increases Affiliation. *Social Cognition*, *27*(6), 949–960.
- Hsu, M. H., Flowerdew, R., Parker, M., Fachner, J., & Odell-Miller, H. (2015). Individual music therapy for managing neuropsychiatric symptoms for people with dementia and their carers: A cluster randomised controlled feasibility study. *BMC Geriatrics*, *15*, 84.
- Hultsch, D. F., MacDonald, S. W. S., & Dixon, R. A. (2002). Variability in Reaction Time Performance of Younger and Older Adults. *The Journals of Gerontology: Series B*, *57*(2), 101–115.
- Hunter, T., Siess, F., & Colloca, L. (2014). Socially induced placebo analgesia: A comparison of a pre-recorded versus live face-to-face observation. *European Journal of Pain*, *18*(7), 914–922.
- Husain, G., Thompson, W. F., & Schellenberg, E. G. (2002). Effects of musical tempo and mode on arousal, mood, and spatial abilities. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, *20*(2), 151–171.
- Iacoboni, M. (2009). Imitation, Empathy, and Mirror Neurons. *Annual Review of Psychology*, *60*(1), 653–670.
- Iversen, J. R., Repp, B. H., & Patel, A. D. (2009). Top-Down Control of Rhythm Perception Modulates Early Auditory Responses. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1169*(1), 58–73.
- Jacobsen, J.-H., Stelzer, J., Fritz, T. H., Chételat, G., La Joie, R., & Turner, R. (2015). Why musical memory can be preserved in advanced Alzheimer’s disease. *Brain*, *138*(8), 2438–2450.
- Janata, P., Tomic, S. T., & Haberman, J. M. (2012). Sensorimotor coupling in music and the psychology of the groove. *Journal of Experimental Psychology. General*, *141*(1), 54–75.

- Jankovic, J. (2008). Parkinson's disease: Clinical features and diagnosis. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 79(4), 368–376.
- Jola, C., & Grosbras, M.-H. (2013). In the here and now: Enhanced motor corticospinal excitability in novices when watching live compared to video recorded dance. *Cognitive Neuroscience*, 4(2), 90–98.
- Jones, C. R. G., Claassen, D., Yu, M., Spies, J. R., Malone, T., Dirnberger, G., Jahanshahi, M., & Kubovy, M. (2011). Modeling Accuracy and Variability of Motor Timing in Treated and Untreated Parkinson's Disease and Healthy Controls. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 5, 81.
- Jones, M. R. (1976). Time, our lost dimension: Toward a new theory of perception, attention, and memory. *Psychological Review*, 83(5), 323–355.
- Jones, M. R. (1987). Dynamic pattern structure in music: Recent theory and research. *Perception & psychophysics*, 41(6), 621–634.
- Jones, M. R., & Boltz, M. (1989). Dynamic Attending and Responses to Time. *Psychological Review*, 96(3), 459–491.
- Jordan, P., Silva, P. A., Nunes, F., & Oliveira, R. (2013). MobileWAY – A System to Reduce the Feeling of Temporary Lonesomeness of Persons with Dementia and to Foster Inter-caregiver Collaboration. *2013 46th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2474–2483.
- Juslin, P. N. (2001). Communicating emotion in music performance: A review and a theoretical framework. In P. N. Juslin & J. A. Sloboda (Eds.), *Series in Affective Science. Music and emotion: Theory and research* (pp. 309–337). New York, NY, US: Oxford University Press.
- Juslin, P. N., Harmat, L., & Eerola, T. (2014). What makes music emotionally significant? Exploring the underlying mechanisms. *Psychology of Music*, 42(4), 599–623.
- Kamil, R. J., & Lin, F. R. (2015). The effects of hearing impairment in older adults on communication partners: a systematic review. *Journal of the American Academy of Audiology*, 26(2), 155–182.
- Keller, P. E. (2008). Joint action in music performance. In F. Morganti, A. Carassa & G. Riva (Eds.), *Emerging Communication: Studies on New Technologies and Practices in Communication: Vol. 10. Enacting intersubjectivity: A cognitive and social perspective on the study of interactions* (pp. 205–221). Amsterdam, Netherlands: IOS Press.
- Keller, P. E. (2012). Mental imagery in music performance: Underlying mechanisms and potential benefits. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1252(1), 206–213.

- Keller, P. E., Novembre, G., & Hove, M. J. (2014). Rhythm in joint action: Psychological and neurophysiological mechanisms for real-time interpersonal coordination. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 369(1658), 20130394.
- Kemp, J., Després, O., Sellal, F., & Dufour, A. (2012). Theory of Mind in normal ageing and neurodegenerative pathologies. *Ageing Research Reviews*, 11(2), 199–219.
- Khalfa, S., Roy, M., Rainville, P., Dalla Bella, S., & Peretz, I. (2008). Role of tempo entrainment in psychophysiological differentiation of happy and sad music? *International Journal of Psychophysiology*, 68(1), 17–26.
- Khosla, R., & Chu, M.-T. (2013). Embodying Care in Matilda: An Affective Communication Robot for Emotional Wellbeing of Older People in Australian Residential Care Facilities. *ACM Trans. Manage. Inf. Syst.*, 4(4), 18:1–18:33.
- Kilner, J. M., Vargas, C., Duval, S., Blakemore, S.-J., & Sirigu, A. (2004). Motor activation prior to observation of a predicted movement. *Nature Neuroscience*, 7(12), 1299–1301.
- King, J. B., Jones, K. G., Goldberg, E., Rollins, M., MacNamee, K., Moffit, C., Naidu, S. R., Ferguson, M. A., Garcia-Leavitt, E., Amaro, J., Breitenbach, K. R., Watson, J. M., Gurgel, R. K., Anderson, J. S., & Foster, N. L. (2019). Increased Functional Connectivity After Listening to Favored Music in Adults With Alzheimer Dementia. *The Journal of Prevention of Alzheimer's Disease*, 6(1), 56–62.
- Kirschner, S., & Tomasello, M. (2009). Joint drumming: Social context facilitates synchronization in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 102(3), 299–314.
- Kirschner, S., & Tomasello, M. (2010). Joint music making promotes prosocial behavior in 4-year-old children. *Evolution and Human Behavior*, 31(5), 354–364.
- Kitwood, T. (1997). *Evaluating dementia care: The DCM method* (7th ed.). Bradford, UK: Bradford Dementia Care Group, University of Bradford.
- Klimova, B., Maresova, P., Valis, M., Hort, J., & Kuca, K. (2015). Alzheimer's disease and language impairments: Social intervention and medical treatment. *Clinical Interventions in Aging*, 10, 1401–1408.
- Kluger, A., Gianutsos, J. G., Golomb, J., Ferris, S. H., & Reisberg, B. (1997). Motor/Psychomotor Dysfunction in Normal Aging, Mild Cognitive Decline, and Early Alzheimer's Disease: Diagnostic and Differential Diagnostic Features. *International Psychogeriatrics*, 9(S1), 307–316.

- Knoblich, G., & Jordan, J. S. (2003). Action coordination in groups and individuals: Learning anticipatory control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29(5), 1006–1016.
- Knoblich, G., Butterfill, S., & Sebanz, N. (2011). Chapter three - Psychological Research on Joint Action: Theory and Data. In B. H. Ross (Ed.), *Psychology of Learning and Motivation* (pp. 59–101). Waltham, MA: Academic.
- Koehne, S., Behrends, A., Fairhurst, M. T., & Dziobek, I. (2016). Fostering social cognition through an imitation- and synchronization-based dance/movement intervention in adults with autism spectrum disorder: A controlled proof-of-concept study. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 85(1), 27–35.
- Kokal, I., Engel, A., Kirschner, S., & Keysers, C. (2011). Synchronized Drumming Enhances Activity in the Caudate and Facilitates Prosocial Commitment—If the Rhythm Comes Easily. *PLOS ONE*, 6(11), e27272.
- Konvalinka, I., Vuust, P., Roepstorff, A., & Frith, C. D. (2010). Follow you, Follow me: Continuous Mutual Prediction and Adaptation in Joint Tapping. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(11), 2220–2230.
- Krampe, R. T., Dumas, M., Lavrysen, A., & Rapp, M. (2010). The costs of taking it slowly: Fast and slow movement timing in older age. *Psychology and Aging*, 25(4), 980–990.
- Kung, S.-J., Chen, J. L., Zatorre, R. J., & Penhune, V. B. (2012). Interacting Cortical and Basal Ganglia Networks Underlying Finding and Tapping to the Musical Beat. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(3), 401–420.
- Ladinig, O., Honing, H., Háden, G., & Winkler, I. (2011). “Probing attentive and pre-attentive emergent meter in adult listeners without extensive music training”: Erratum. *Music Perception*, 28(4), 444–444.
- Lakin, J. L., Jefferis, V. E., Cheng, C. M., & Chartrand, T. L. (2003). The Chameleon Effect as Social Glue: Evidence for the Evolutionary Significance of Nonconscious Mimicry. *Journal of Nonverbal Behavior*, 27(3), 145–162.
- Lakin, J. L. (2006). Automatic cognitive processes and nonverbal communication. In V. Manusov & M.L. Patterson (Eds.), *The SAGE Handbook of Nonverbal Communication* (pp. 59–77). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Large, E. W., & Jones, M. R. (1999). The Dynamics of Attending: How People Track Time-Varying Events. *Psychological Review*, 106(1), 119–159.
- Laukka, P. (2006). Uses of music and psychological well-being among the elderly. *Journal of Happiness Studies*, 8(2), 215.

- Lavenex, I., & Pasquier, F. (2005). Perception of Emotion on Faces in Frontotemporal Dementia and Alzheimer's Disease: A Longitudinal Study. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 19(1), 37–41.
- Lehmann, M., Ghosh, P. M., Madison, C., Laforce, R., Corbetta-Rastelli, C., Weiner, M. W., Greicius, M. D., Seeley, W. W., Gorno-Tempini, M. L., Rosen, H. J., Miller, B. L., Jagust, W. J., & Rabinovici, G. D. (2013). Diverging patterns of amyloid deposition and hypometabolism in clinical variants of probable Alzheimer's disease. *Brain*, 136(3), 844–858.
- Leman, M. (2007). *Embodied Music Cognition and Mediation Technology*. MIT Press.
- Leman, M., Desmet, F., Styns, F., van Noorden, L., & Moelants, D. (2009). Sharing Musical Expression Through Embodied Listening: A Case Study Based on Chinese Guqin Music. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 26(3), 263–278.
- Leman, M., Moelants, D., Varewyck, M., Styns, F., van Noorden, L., & Martens, J.-P. (2013). Activating and Relaxing Music Entrain the Speed of Beat Synchronized Walking. *PLOS ONE*, 8(7), e67932.
- Leman, M., Buhmann, J., & Van Dyck, E. (2017). The empowering effects of being locked into the beat of the music. In C. Wöllner (Ed.), *Body, Sound and Space in Music and Beyond: Multimodal Explorations* (pp. 13–28). New York: Routledge.
- Leow, L.-A., Parrott, T., & Grahn, J. A. (2014). Individual Differences in Beat Perception Affect Gait Responses to Low- and High-Groove Music. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 811.
- Leow, L.-A., Rinchon, C., & Grahn, J. (2015). Familiarity with music increases walking speed in rhythmic auditory cuing. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337(1), 53–61.
- Leow, L.-A., Waclawik, K., & Grahn, J. A. (2017). The role of attention and intention in synchronization to music: Effects on gait. *Experimental Brain Research*, 236(1), 99–115.
- Lerdahl, F. & Jackendoff, R. (1983). *A Generative Theory of Tonal Music*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Lesaffre, M., Moens, B., & Desmet, F. (2017). Monitoring music and movement interaction in people with dementia. In M. Lesaffre, P.-J. Maes & M. Leman (Eds.), *The Routledge Companion to embodied music interaction* (pp. 294–303). New York: Routledge.
- Leslie, K. R., Johnson-Frey, S. H., & Grafton, S. T. (2004). Functional imaging of face and hand imitation: Towards a motor theory of empathy. *NeuroImage*, 21(2), 601–607.

- Levenson, R. W., Ekman, P., & Friesen, W. V. (1990). Voluntary Facial Action Generates Emotion-Specific Autonomic Nervous System Activity. *Psychophysiology*, 27(4), 363–384.
- Libin, A. V., & Libin, E. V. (2004). Person-robot interactions from the robopsychologists' point of view: The robotic psychology and robototherapy approach. *Proceedings of the IEEE*, 92(11), 1789–1803.
- Lin, Y., Chu, H., Yang, C.-Y., Chen, C.-H., Chen, S.-G., Chang, H.-J., Hsieh, C.-J., & Chou, K.-R. (2011). Effectiveness of group music intervention against agitated behavior in elderly persons with dementia. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 26(7), 670–678.
- Loehr, J. D., & Palmer, C. (2009). Subdividing the Beat: Auditory and Motor Contributions to Synchronization. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 26(5), 415–425.
- Loehr, J. D., & Palmer, C. (2011). Temporal coordination between performing musicians. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(11), 2153–2167.
- London, J. (2002). Cognitive Constraints on Metric Systems: Some Observations and Hypotheses. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 19(4), 529–550.
- London, J. (2012). *Hearing in Time: Psychological Aspects of Musical Meter*. Oxford University Press.
- Lotze, M., Scheler, G., Tan, H.-R. M., Braun, C., & Birbaumer, N. (2003). The musician's brain: Functional imaging of amateurs and professionals during performance and imagery. *NeuroImage*, 20(3), 1817–1829.
- Loui, P., Bachorik, J., Li, H. C., & Schlaug, G. (2013). Effects of voice on emotional arousal. *Frontiers in Psychology*, 4, 675.
- Madison, G. (2006). Experiencing Groove Induced by Music: Consistency and Phenomenology. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 24(2), 201–208.
- Madison, G., & Delignières, D. (2009). Auditory feedback affects the long-range correlation of isochronous serial interval production: Support for a closed-loop or memory model of timing. *Experimental Brain Research*, 193(4), 519–527.
- Madison, G., Karampela, O., Ullén, F., & Holm, L. (2013). Effects of practice on variability in an isochronous serial interval production task: Asymptotical levels of tapping variability after training are similar to those of musicians. *Acta Psychologica*, 143(1), 119–128.
- Madison, G. (2014). Sensori-motor synchronisation variability decreases as the number of metrical levels in the stimulus signal increases. *Acta Psychologica*, 147, 10–16.

- Maes, P.-J., Leman, M., Palmer, C., & Wanderley, M. (2014). Action-based effects on music perception. *Frontiers in Psychology*, *4*(1008), 1-14.
- Maes, P.-J., Wanderley, M. M., & Palmer, C. (2015). The role of working memory in the temporal control of discrete and continuous movements. *Experimental Brain Research*, *233*(1), 263–273.
- Manning, F., & Schutz, M. (2013). “Moving to the beat” improves timing perception. *Psychonomic Bulletin & Review*, *20*(6), 1133–1139.
- Manning, F. C., & Schutz, M. (2015). Movement Enhances Perceived Timing in the Absence of Auditory Feedback. *Timing & Time Perception*, *3*(1–2), 3–12.
- Manstead, A. S. R., Lea, M., & Goh, J. (2011). 7. Facing the future: Emotion communication and the presence of others in the age of video-mediated communication. In A. Kappas & N. C. Krämer (Eds), *Face-to-face communication over the Internet: Emotions in a web of culture, language, and technology*, (pp. 144-175). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Marchand, W. R., Lee, J. N., Suchy, Y., Garn, C., Chelune, G., Johnson, S., & Wood, N. (2013). Functional architecture of the cortico-basal ganglia circuitry during motor task execution: Correlations of strength of functional connectivity with neuropsychological task performance among female subjects. *Human Brain Mapping*, *34*(5), 1194–1207.
- Marshall, G. A., Rentz, D. M., Frey, M. T., Locascio, J. J., Johnson, K. A., & Sperling, R. A. (2011). Executive function and instrumental activities of daily living in mild cognitive impairment and Alzheimer’s disease. *Alzheimer’s & Dementia*, *7*(3), 300–308.
- Martin, E., Blais, M., Albaret, J.-M., Pariente, J., & Tallet, J. (2017). Alteration of rhythmic unimanual tapping and anti-phase bimanual coordination in Alzheimer’s disease: A sign of inter-hemispheric disconnection? *Human Movement Science*, *55*, 43–53.
- Martínez-Alcalá, C. I., Pliego-Pastrana, P., Rosales-Lagarde, A., Lopez-Noguerola, J. S., & Molina-Trinidad, E. M. (2016). Information and Communication Technologies in the Care of the Elderly: Systematic Review of Applications Aimed at Patients With Dementia and Caregivers. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, *3*(1).
- Mas-Herrero, E., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2018). Modulating musical reward sensitivity up and down with transcranial magnetic stimulation. *Nature Human Behaviour*, *2*(1), 27–32.
- Mates, J., Radil, T., & Pöppel, E. (1992). Cooperative tapping: Time control under different feedback conditions. *Perception & Psychophysics*, *52*, 691–704.

- Mates, J., Müller, U., Radil, T., & Pöppel, E. (1994). Temporal integration in sensorimotor synchronization. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *6*(4), 332–340.
- Mates, J. (1994). A model of synchronization of motor acts to a stimulus sequence. *Biological Cybernetics*, *70*(5), 463–473.
- Mayville, J. M., Fuchs, A., Ding, M., Cheyne, D., Deecke, L., & Kelso, J. A. S. (2001). Event-related changes in neuromagnetic activity associated with syncopation and synchronization timing tasks. *Human Brain Mapping*, *14*(2), 65–80.
- McAuley, J. D., Jones, M. R., Holub, S., Johnston, H. M., & Miller, N. S. (2006). The Time of Our Lives: Life Span Development of Timing and Event Tracking. *Journal of Experimental Psychology: General*, *135*(3), 348–367.
- McAuley, J. D. (2010). Tempo and Rhythm. In M. R. Jones, R. R. Fay, & A. N. Popper (Eds.), *Music perception. Springer handbook of auditory research* (Vol. 36, pp. 165–199). New York: Springer Science + Business Media.
- McGrath, J. E., & Kelly, J. R. (1986). *Time and human interaction: Toward a social psychology of time*. New York, NY, US: Guilford Press.
- McNeill, D. (2008). *Gesture and Thought*. University of Chicago Press.
- McNeill, W. H. (1995). *Keeping together in time: Dance and drill in human history*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Mehrabian, A. (1969). Attitudes inferred from non-immediacy of verbal communication. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *6*, 294-295.
- Merchant, H., Luciana, M., Hooper, C., Majestic, S., & Tuite, P. (2008). Interval timing and Parkinson's disease: Heterogeneity in temporal performance. *Experimental Brain Research*, *184*(2), 233–248.
- Michaelis, K., Wiener, M., & Thompson, J. C. (2014). Passive listening to preferred motor tempo modulates corticospinal excitability. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 252.
- Moelants, D. (2002). Preferred tempo reconsidered. In C. Stevens, D. Burnham, G. McPherson, E. Schubert, & J. Renwick (Eds.), *Proceedings of the 7th international conference on music perception and cognition*, Sydney, Australia (pp. 580–583). Adelaide, Australia: Causal Productions.
- Mograbi, D. C., & Morris, R. G. (2014). On the relation among mood, apathy, and anosognosia in Alzheimer's disease. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, *20*(1), 2–7.
- Moumdjian, L., Buhmann, J., Willems, I., Feys, P., & Leman, M. (2018). Entrainment and Synchronization to Auditory Stimuli During Walking in Healthy and Neurological

- Populations: A Methodological Systematic Review. *Frontiers in Human Neuroscience*, *12*, 263.
- Mulac, A., Studley, L. B., Wiemann, J. M., & Bradac, J. J. (1987). Male/Female Gaze in Same-Sex and Mixed-Sex Dyads: Gender-Linked Differences and Mutual Influence. *Human Communication Research*, *13*(3), 323–343.
- Narme, P., Clément, S., Ehrlé, N., Schiaratura, L., Vachez, S., Courtaigne, B., Munsch, F., & Samson, S. (2014). Efficacy of Musical Interventions in Dementia: Evidence from a Randomized Controlled Trial. *Journal of Alzheimer's Disease*, *38*(2), 359–369.
- National Institute for Health and Clinical Excellence (NICE). Guideline for dementia. November 2006. <https://www.nice.org.uk/guidance/ta217/chapter/4-Evidence-and-interpretation>
- Noller, P. (1984). *Nonverbal communication and marital interaction*. Elmsford, NY, US: Pergamon Press.
- 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, Part 2), 2564–2570.
- Nozaradan, S., Peretz, I., Missal, M., & Mouraux, A. (2011). Tagging the Neuronal Entrainment to Beat and Meter. *Journal of Neuroscience*, *31*(28), 10234–10240.
- Nozaradan, S., Zerouali, Y., Peretz, I., & Mouraux, A. (2013). Capturing with EEG the Neural Entrainment and Coupling Underlying Sensorimotor Synchronization to the Beat. *Cerebral Cortex*, *25*(3), 736–747.
- Oberman, L. M., & Ramachandran, V. S. (2007). The simulating social mind: The role of the mirror neuron system and simulation in the social and communicative deficits of autism spectrum disorders. *Psychological Bulletin*, *133*(2), 310–327.
- Overy, K., & Molnar-Szakacs, I. (2009). Being Together in Time: Musical Experience and the Mirror Neuron System. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, *26*(5), 489–504.
- Overy, K. (2012). Making music in a group: Synchronization and shared experience. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1252*, 65–68.
- Páez, D., Rimé, B., Basabe, N., Wlodarczyk, A., & Zumeta, L. (2015). Psychosocial effects of perceived emotional synchrony in collective gatherings. *Journal of Personality and Social Psychology*, *108*(5), 711–729.
- Palmer, C., & Krumhansl, C. L. (1990). Mental representations for musical meter. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *16*(4), 728–741.

- Palmer, C., Lidji, P., & Peretz, I. (2014). Losing the beat: Deficits in temporal coordination. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1658), 20130405.
- Pecenka, N., & Keller, P. E. (2009). Auditory Pitch Imagery and Its Relationship to Musical Synchronization. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 282–286.
- Pecenka, N., Engel, A., & Keller, P. E. (2013). Neural correlates of auditory temporal predictions during sensorimotor synchronization. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 380.
- Pedersen, S. K. A., Andersen, P. N., Lugo, R. G., Andreassen, M., & Sütterlin, S. (2017). Effects of Music on Agitation in Dementia: A Meta-Analysis. *Frontiers in Psychology*, 8, 742.
- Peretz, I., Champod, A. S., & Hyde, K. (2003). Varieties of Musical Disorders. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999(1), 58–75.
- Perl, E., Shay, U., Hamburger, R., & Steiner, J. E. (1992). Taste- and odor-reactivity in elderly demented patients. *Chemical Senses*, 17(6), 779–794.
- Perry, R. J., & Hodges, J. R. (1999). Attention and executive deficits in Alzheimer's disease: A critical review. *Brain*, 122(3), 383–404.
- Philippot, P., & Douilliez, C. (2011). Impact of social anxiety on the processing of emotional information in video-mediated interaction In A. Kappas & N. C. Krämer (Eds.), *Face-to-face communication over the Internet: Emotions in a web of culture, language, and technology*, (pp. 127-143). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Phillips-Silver, J., & Trainor, L. J. (2008). Vestibular influence on auditory metrical interpretation. *Brain and Cognition*, 67(1), 94–102.
- Phillips-Silver, J., Aktipis, C. A., & Bryant, G. A. (2010). The Ecology of Entrainment: Foundations of Coordinated Rhythmic Movement. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 28(1), 3–14.
- Phillips-Silver, J., Toiviainen, P., Gosselin, N., Piché, O., Nozaradan, S., Palmer, C., & Peretz, I. (2011). Born to dance but beat deaf: A new form of congenital amusia. *Neuropsychologia*, 49(5), 961–969.
- Pöppel, E. (1997). A hierarchical model of temporal perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 1(2), 56–61.
- Povel, D.-J. (1981). Internal representation of simple temporal patterns. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7(1), 3–18.

- Povel, D.-J., & Essens, P. (1985). Perception of Temporal Patterns. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 2(4), 411–440.
- Premack, D., & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and Brain Sciences*, 1(4), 515–526.
- Pressing, J. (1998). Error Correction Processes in Temporal Pattern Production. *Journal of Mathematical Psychology*, 42(1), 63–101.
- Prince, M., Wimo, A., Ali, G. C., Wu, Y. T., & Prina, M. (2015). *World Alzheimer Report 2015: the global impact of dementia: an analysis of prevalence, incidence, cost and trends*. London: Alzheimer's Disease International.
- Rabinowitz, I., & Lavner, Y. (2014). Association between Finger Tapping, Attention, Memory, and Cognitive Diagnosis in Elderly Patients. *Perceptual and Motor Skills*, 119(1), 259–278.
- Raglio, A., Bellelli, G., Traficante, D., Gianotti, M., Ubezio, M. C., Villani, D., & Trabucchi, M. (2008). Efficacy of Music Therapy in the Treatment of Behavioral and Psychiatric Symptoms of Dementia. *Alzheimer Disease & Associated Disorders*, 22(2), 158.
- Raglio, A., Bellelli, G., Traficante, D., Gianotti, M., Ubezio, M. C., Gentile, S., Villani, D., & Trabucchi, M. (2010). Efficacy of music therapy treatment based on cycles of sessions: A randomised controlled trial. *Aging & Mental Health*, 14(8), 900–904.
- Rao, S. M., Binder, J. R., Bandettini, P. A., Hammeke, T. A., Yetkin, F. Z., Jesmanowicz, A., ... Estkowski, L. D. (1993). Functional magnetic resonance imaging of complex human movements. *Neurology*, 43(11), 2311–2318.
- Redcay, E., Dodell-Feder, D., Pearrow, M. J., Mavros, P. L., Kleiner, M., Gabrieli, J. D. E., & Saxe, R. (2010). Live face-to-face interaction during fMRI: A new tool for social cognitive neuroscience. *NeuroImage*, 50(4), 1639–1647.
- Renfrew, C., Frith, C., Malafouris, L., & Frith, C. D. (2008). Social cognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1499), 2033–2039.
- Repp, B. H. (2003). Rate Limits in Sensorimotor Synchronization With Auditory and Visual Sequences: The Synchronization Threshold and the Benefits and Costs of Interval Subdivision. *Journal of Motor Behavior*, 35(4), 355–370.
- Repp, B. H., & Keller, P. E. (2004). Adaptation to tempo changes in sensorimotor synchronization: Effects of intention, attention, and awareness. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 57(3), 499–521.
- Repp, B. H. (2005). Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(6), 969–992.

- Repp, B. H., & Steinman, S. R. (2010). Simultaneous Event-Based and Emergent Timing: Synchronization, Continuation, and Phase Correction. *Journal of Motor Behavior*, 42(2), 111–126.
- Repp, B. H., & Su, Y.-H. (2013). Sensorimotor synchronization: A review of recent research (2006–2012). *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(3), 403–452.
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The Mirror-Neuron System. *Annual Review of Neuroscience*, 27(1), 169–192.
- Rizzolatti, G. (2005). The mirror neuron system and its function in humans. *Anatomy and Embryology*, 210(5), 419–421.
- Roalf, D. R., Rupert, P., Mechanic-Hamilton, D., Brennan, L., Duda, J. E., Weintraub, D., Trojanowski, J. Q., Wolk, D., & Moberg, P. J. (2018). Quantitative assessment of finger tapping characteristics in mild cognitive impairment, Alzheimer’s disease, and Parkinson’s disease. *Journal of Neurology*, 265(6), 1365–1375.
- Rodger, M. W., & Craig, C. M. (2016). Beyond the metronome: Auditory events and music may afford more than just interval durations as gait cues in Parkinson’s disease. *Frontiers in neuroscience*, 10, 272.
- Rousseau, T. (2007). *Démences: Orthophonies et autres interventions*. Isbergues : Ortho Edition.
- Rousseaux, M., Sève, A., Vallet, M., Pasquier, F., & Mackowiak-Cordoliani, M. A. (2010). An analysis of communication in conversation in patients with dementia. *Neuropsychologia*, 48(13), 3884–3890.
- Sabat, S. R., & Gladstone, C. M. (2010). What intact social cognition and social behavior reveal about cognition in the moderate stage of Alzheimer’s disease: A case study. *Dementia*, 9(1), 61–78.
- Sakai, K., Hikosaka, O., Miyauchi, S., Takino, R., Tamada, T., Iwata, N. K., & Nielsen, M. (1999). Neural Representation of a Rhythm Depends on Its Interval Ratio. *Journal of Neuroscience*, 19(22), 10074–10081.
- Sakamoto, M., Ando, H., & Tsutou, A. (2013). Comparing the effects of different individualized music interventions for elderly individuals with severe dementia. *International Psychogeriatrics*, 25(5), 775–784.
- Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Longo, G., Cooperstock, J. R., & Zatorre, R. J. (2009). The Rewarding Aspects of Music Listening Are Related to Degree of Emotional Arousal. *PLOS ONE*, 4(10), e7487.

- Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature Neuroscience*, *14*(2), 257–262.
- Salimpoor, V. N., Bosch, I. van den, Kovacevic, N., McIntosh, A. R., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2013). Interactions Between the Nucleus Accumbens and Auditory Cortices Predict Music Reward Value. *Science*, *340*(6129), 216–219.
- Salimpoor, V. N., Zald, D. H., Zatorre, R. J., Dagher, A., & McIntosh, A. R. (2015). Predictions and the brain: How musical sounds become rewarding. *Trends in Cognitive Sciences*, *19*(2), 86–91.
- Samson, S., Dellacherie, D., & Platel, H. (2009). Emotional Power of Music in Patients with Memory Disorders. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1169*(1), 245–255.
- Samson, S., Clément, S., Narme, P., Schiaratura, L., & Ehrlé, N. (2015). Efficacy of musical interventions in dementia: Methodological requirements of nonpharmacological trials. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1337*(1), 249–255.
- Sánchez, A., Maseda, A., Marante-Moar, M. P., de Labra, C., Lorenzo-López, L., & Millán-Calenti, J. C. (2016). Comparing the Effects of Multisensory Stimulation and Individualized Music Sessions on Elderly People with Severe Dementia: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Alzheimer's Disease*, *52*(1), 303–315.
- Sandford, J., & Turner, A. (2000). *Integrated visual and auditory continuous performance test manual*. Richmond, VA: Brain Train.
- Särkämö, T., Tervaniemi, M., Laitinen, S., Numminen, A., Kurki, M., Johnson, J. K., & Rantanen, P. (2014). Cognitive, Emotional, and Social Benefits of Regular Musical Activities in Early Dementia: Randomized Controlled Study. *The Gerontologist*, *54*(4), 634–650.
- Särkämö, T., Laitinen, S., Numminen, A., Kurki, M., Johnson, J. K., & Rantanen, P. (2016). Clinical and Demographic Factors Associated with the Cognitive and Emotional Efficacy of Regular Musical Activities in Dementia. *Journal of Alzheimer's Disease*, *49*(3), 767–781.
- Särkämö, T., & Sihvonen, A. J. (2018). Golden oldies and silver brains: Deficits, preservation, learning, and rehabilitation effects of music in ageing-related neurological disorders. *Cortex*, *109*, 104–123.
- Sasaki, H., Masumoto, J., & Inui, N. (2011). Effects of Aging on Control of Timing and Force of Finger Tapping. *Motor Control*, *15*(2), 175–186.

- Schelde, T., & Hertz, M. (1994). Ethology and psychotherapy. *Ethology and Sociobiology*, 15(5), 383–392.
- Schiaratura, L. T. (2008). Non-verbal communication in Alzheimer's disease. *Psychologie & NeuroPsychiatrie Du Vieillissement*, 6(3), 183–188.
- Schiaratura, L. T. (2013). Analyse et interprétation psychologiques des comportements corporels en situation de communication interpersonnelle. *Methodos. Savoirs et textes*, (13).
- Schiaratura, L. T., Pastena, A. D., Askevis-Leherpeux, F., & Clément, S. (2015). Verbal and gestural communication in interpersonal interaction with Alzheimer's disease patients. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie Du Vieillissement*, 13(1), 97–105.
- Schnitzler, A., Salenius, S., Salmelin, R., Jousmäki, V., & Hari, R. (1997). Involvement of Primary Motor Cortex in Motor Imagery: A Neuromagnetic Study. *NeuroImage*, 6(3), 201–208.
- Schulz, R., & Williamson, G. M. (1991). A 2-year longitudinal study of depression among Alzheimer's caregivers. *Psychology and Aging*, 6(4), 569–578.
- Schulze, H.-H., Cordes, A., & Vorberg, D. (2005). Keeping Synchrony While Tempo Changes: Accelerando and Ritardando. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 22(3), 461–477.
- Schwartz, B., Tesser, A., & Powell, E. (1982). Dominance Cues in Nonverbal Behavior. *Social Psychology Quarterly*, 45(2), 114–120.
- Schwartz, M., Tavano, A., Schröger, E., & Kotz, S. A. (2012). Temporal aspects of prediction in audition: Cortical and subcortical neural mechanisms. *International Journal of Psychophysiology*, 83(2), 200–207.
- Schwartz, M., Keller, P. E., & Kotz, S. A. (2016). Spontaneous, synchronized, and corrective timing behavior in cerebellar lesion patients. *Behavioural Brain Research*, 312, 285–293.
- Sebanz, N., Knoblich, G., & Prinz, W. (2003). Representing others' actions: Just like one's own? *Cognition*, 88(3), B11–B21.
- Sebanz, N., Bekkering, H., & Knoblich, G. (2006). Joint action: Bodies and minds moving together. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(2), 70–76.
- Seidler, R. D., Bernard, J. A., Burutolu, T. B., Fling, B. W., Gordon, M. T., Gwin, J. T., Kwak, Y., & Lipps, D. B. (2010). Motor control and aging: Links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(5), 721–733.

- Selkoe, D. J., & Hardy, J. (2016). The amyloid hypothesis of Alzheimer's disease at 25 years. *EMBO Molecular Medicine*, 8(6), 595–608.
- Sequeira, H., Hot, P., Silvert, L., & Delplanque, S. (2009). Electrical autonomic correlates of emotion. *International Journal of Psychophysiology*, 71(1), 50–56.
- Serrano-Pozo, A., Frosch, M. P., Masliah, E., & Hyman, B. T. (2011). Neuropathological Alterations in Alzheimer Disease. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 1(1).
- Shany-Ur, T., & Rankin, K. P. (2011). Personality and Social Cognition in Neurodegenerative Disease. *Current Opinion in Neurology*, 24(6).
- Sheridan, P. L., Solomont, J., Kowall, N., & Hausdorff, J. M. (2003). Influence of Executive Function on Locomotor Function: Divided Attention Increases Gait Variability in Alzheimer's Disease. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51(11), 1633–1637.
- Sherratt, K., Thornton, A., & Hatton, C. (2004). Emotional and behavioural responses to music in people with dementia: An observational study. *Aging & Mental Health*, 8(3), 233–241.
- Sisco, F., Taurel, M., Lafont, V., Bertogliati, C., Baudu, C., Giordana, J. Y., Braccini, T., & Robert, P. (2000) Les troubles du comportement chez le sujet dément en institution: évaluation à partir de l'inventaire neuropsychiatrique pour les équipes soignantes (NPI/ES). *L'Année gériatrique* 14, 151–171.
- Smith, C. D., Umberger, G. H., Manning, E. L., Slevin, J. T., Wekstein, D. R., Schmitt, F. A., Markesbery, W. R., Zhang, Z., Gerhardt, G. A., Kryscio, R. J., & Gash, D. M. (1999). Critical decline in fine motor hand movements in human aging. *Neurology*, 53(7), 1458–1461.
- Smith, G. E., Kokmen, E., & O'Brien, P. C. (2000). Risk Factors for Nursing Home Placement in a Population-Based Dementia Cohort. *Journal of the American Geriatrics Society*, 48(5), 519–525.
- Snyder, J. S., & Large, E. W. (2005). Gamma-band activity reflects the metric structure of rhythmic tone sequences. *Cognitive Brain Research*, 24(1), 117–126.
- Sowiński, J., & Dalla Bella, S. (2013). Poor synchronization to the beat may result from deficient auditory-motor mapping. *Neuropsychologia*, 51(10), 1952–1963.
- Starkstein, S. E., Jorge, R., Mizrahi, R., & Robinson, R. G. (2005). The Construct of Minor and Major Depression in Alzheimer's Disease. *American Journal of Psychiatry*, 162(11), 2086–2093.

- Stevenson Won, A. S., Bailenson, J. N., Stathatos, S. C., & Dai, W. (2014). Automatically Detected Nonverbal Behavior Predicts Creativity in Collaborating Dyads. *Journal of Nonverbal Behavior*, 38(3), 389–408.
- Stormark, K. M., & Braarud, H. C. (2004). Infants' sensitivity to social contingency: A "double video" study of face-to-face communication between 2- and 4-month-olds and their mothers. *Infant Behavior and Development*, 27(2), 195–203.
- Studenka, B. E., Zelaznik, H. N., & Balasubramaniam, R. (2012). The distinction between tapping and circle drawing with and without tactile feedback: An examination of the sources of timing variance. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(6), 1086–1100.
- Stupacher, J., Maes, P.-J., Witte, M., & Wood, G. (2017). Music strengthens prosocial effects of interpersonal synchronization – If you move in time with the beat. *Journal of Experimental Social Psychology*, 72, 39–44.
- Stupacher, J., Wood, G., & Witte, M. (2017). Synchrony and sympathy: Social entrainment with music compared to a metronome. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, 27(3), 158–166.
- Sturm, V. E., McCarthy, M. E., Yun, I., Madan, A., Yuan, J. W., Holley, S. R., Ascher, E. A., Boxer, A. L., Miller, B. L., & Levenson, R. W. (2011). Mutual gaze in Alzheimer's disease, frontotemporal and semantic dementia couples. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 6(3), 359–367.
- Styns, F., van Noorden, L., Moelants, D., & Leman, M. (2007). Walking on music. *Human Movement Science*, 26(5), 769–785.
- Su, Y.-H., & Pöppel, E. (2012). Body movement enhances the extraction of temporal structures in auditory sequences. *Psychological Research*, 76(3), 373–382.
- Sung, H., Lee, W., Li, T., & Watson, R. (2012). A group music intervention using percussion instruments with familiar music to reduce anxiety and agitation of institutionalized older adults with dementia. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 27(6), 621–627.
- Suzumura, S., Osawa, A., Nagahama, T., Kondo, I., Sano, Y., & Kandori, A. (2016). Assessment of finger motor skills in individuals with mild cognitive impairment and patients with Alzheimer's disease: Relationship between finger-to-thumb tapping and cognitive function. *Japanese Journal of Comprehensive Rehabilitation Science*, 7, 19–28.
- Takahashi, T., & Matsushita, H. (2006). Long-Term Effects of Music Therapy on Elderly with Moderate/Severe Dementia. *Journal of Music Therapy*, 43(4), 317–333.

- Tappen, R. M., & Williams, C. (1998). Attribution of emotion in advanced Alzheimer's disease: Family and caregiver perspectives. *American Journal of Alzheimer's Disease*, *13*(5), 257–264.
- Tarr, B., Launay, J., & Dunbar, R. I. M. (2016). Silent disco: Dancing in synchrony leads to elevated pain thresholds and social closeness. *Evolution and Human Behavior*, *37*(5), 343–349.
- Thaut, M. H., Rathbun, J. A., & Miller, R. A. (1997). Music versus metronome timekeeper in a rhythmic motor task. *International Journal of Arts Medicine*, *5*(1), 4–12.
- Thomas, P., Chantoin-Merlet, S., Hazif-Thomas, C., Belmin, J., Montagne, B., Clément, J.-P., Lebruchec, M., & Billon, R. (2002). Complaints of informal caregivers providing home care for dementia patients: The Pixel study. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, *17*(11), 1034–1047.
- Thompson, E. C., White-Schwoch, T., Tierney, A., & Kraus, N. (2015). Beat Synchronization across the Lifespan: Intersection of Development and Musical Experience. *PLOS ONE*, *10*(6), e0128839.
- Tierney, A., & Kraus, N. (2013a). The ability to tap to a beat relates to cognitive, linguistic, and perceptual skills. *Brain and Language*, *124*(3), 225–231.
- Tierney, A., & Kraus, N. (2013b). The Ability to Move to a Beat Is Linked to the Consistency of Neural Responses to Sound. *Journal of Neuroscience*, *33*(38), 14981–14988.
- Tillmann, B. (2005). Implicit Investigations of Tonal Knowledge in Nonmusician Listeners. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1060*(1), 100–110.
- Toiviainen, P., Luck, G., & Thompson, M. R. (2010). Embodied Meter: Hierarchical Eigenmodes in Music-Induced Movement. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, *28*(1), 59–70.
- Tomasello, M., & Carpenter, M. (2007). Shared intentionality. *Developmental science*, *10*(1), 121–125.
- Toot, S., Swinson, T., Devine, M., Challis, D., & Orrell, M. (2017). Causes of nursing home placement for older people with dementia: A systematic review and meta-analysis. *International Psychogeriatrics*, *29*(2), 195–208.
- Tranchant, P., Vuvan, D. T., & Peretz, I. (2016). Keeping the Beat: A Large Sample Study of Bouncing and Clapping to Music. *PLOS ONE*, *11*(7), e0160178.
- Trost, W., Labbé, C., & Grandjean, D. (2017). Rhythmic entrainment as a musical affect induction mechanism. *Neuropsychologia*, *96*, 96–110.

- Tsai, C.-C., Kuo, W.-J., Jing, J.-T., Hung, D. L., & Tzeng, O. J.-L. (2006). A common coding framework in self–other interaction: Evidence from joint action task. *Experimental Brain Research*, *175*(2), 353–362.
- Turgeon, M., Wing, A. M., & Taylor, L. W. (2011). Timing and aging: Slowing of fastest regular tapping rate with preserved timing error detection and correction. *Psychology and Aging*, *26*(1), 150–161.
- Turgeon, M., & Wing, A. M. (2012). Late onset of age-related difference in unpaced tapping with no age-related difference in phase-shift error detection and correction. *Psychology and Aging*, *27*(4), 1152–1163.
- Ullsperger, M., & von Cramon, D. Y. (2004). Neuroimaging of Performance Monitoring: Error Detection and Beyond. *Cortex*, *40*(4), 593–604.
- Valdesolo, P., Ouyang, J., & DeSteno, D. (2010). The rhythm of joint action: Synchrony promotes cooperative ability. *Journal of Experimental Social Psychology*, *46*(4), 693–695.
- Valdesolo, P., & Desteno, D. (2011). Synchrony and the social tuning of compassion. *Emotion (Washington, D.C.)*, *11*(2), 262–266.
- van Baaren, R. B., Holland, R. W., Kawakami, K., & van Knippenberg, A. (2004). Mimicry and Prosocial Behavior. *Psychological Science*, *15*(1), 71–74.
- Van Den Bosch, I., Salimpoor, V., & Zatorre, R. J. (2013). Familiarity mediates the relationship between emotional arousal and pleasure during music listening. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, 534.
- van der Lee, J., Bakker, T. J. E. M., Duivenvoorden, H. J., & Dröes, R.-M. (2017). Do determinants of burden and emotional distress in dementia caregivers change over time? *Aging & Mental Health*, *21*(3), 232–240.
- van der Steen, M. C., Christine, M., & Keller, P. E. (2013). The ADaptation and Anticipation Model (ADAM) of sensorimotor synchronization. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, 253.
- van der Steen, J. T., van Soest-Poortvliet, M. C., van der Wouden, J. C., Bruinsma, M. S., Scholten, R. J., & Vink, A. C. (2017). Music-based therapeutic interventions for people with dementia. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, *5*, CD003477.
- van Noorden, L., & Moelants, D. (1999). Resonance in the Perception of Musical Pulse. *Journal of New Music Research*, *28*(1), 43–66.

- Vanneste, S., Pouthas, V., & Wearden, J. H. (2001). Temporal control of rhythmic performance: A comparison between young and old adults. *Experimental Aging Research*, 27(1), 83–102.
- Verfaillie, K., & Daems, A. (2002). Representing and anticipating human actions in vision. *Visual Cognition*, 9(1–2), 217–232.
- Verghese, J., Wang, C., Lipton, R. B., Holtzer, R., & Xue, X. (2007). Quantitative gait dysfunction and risk of cognitive decline and dementia. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 78(9), 929–935.
- Vicaria, I. M., & Dickens, L. (2016). Meta-Analyses of the Intra- and Interpersonal Outcomes of Interpersonal Coordination. *Journal of Nonverbal Behavior*, 40(4), 335–361.
- Villain, N., Chételat, G., Grassiot, B., Bourgeat, P., Jones, G., Ellis, K. A., Ames, D., Martins, R. N., Eustache, F., Salvado, O., Masters, C. L., Rowe, C. C., & Villemagne, V. L. (2012). Regional dynamics of amyloid- β deposition in healthy elderly, mild cognitive impairment and Alzheimer's disease: A voxelwise PiB-PET longitudinal study. *Brain*, 135(7), 2126–2139.
- Vink, A. C., Zuidersma, M., Boersma, F., de Jonge, P., Zuidema, S. U., & Slaets, J. P. J. (2013). The effect of music therapy compared with general recreational activities in reducing agitation in people with dementia: A randomised controlled trial. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 28(10), 1031–1038.
- Vink, A. C., Zuidersma, M., Boersma, F., de Jonge, P., Zuidema, S. U., & Slaets, J. P. (2014). Effect of Music Therapy Versus Recreational Activities on Neuropsychiatric Symptoms in Elderly Adults with Dementia: An Exploratory Randomized Controlled Trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, 62(2), 392–393.
- Wallbott, H. G. (1998). Bodily expression of emotion. *European Journal of Social Psychology*, 28(6), 879–896.
- Webster, G. D., & Weir, C. G. (2005). Emotional Responses to Music: Interactive Effects of Mode, Texture, and Tempo. *Motivation and Emotion*, 29(1), 19–39.
- Wechsler, D. (1997). *Wechsler Memory Scale (3rd ed.)*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Wiltermuth, S. S., & Heath, C. (2009). Synchrony and Cooperation. *Psychological Science*, 20(1), 1–5.
- Witek, M. A. G., Clarke, E. F., Wallentin, M., Kringelbach, M. L., & Vuust, P. (2014). Syncopation, Body-Movement and Pleasure in Groove Music. *PLOS ONE*, 9(4), e94446.

- Wittwer, J. E., Webster, K. E., & Hill, K. (2013). Music and metronome cues produce different effects on gait spatiotemporal measures but not gait variability in healthy older adults. *Gait & Posture*, *37*(2), 219–222.
- Wohlschläger, A., & Koch, R. (2000). Synchronization error: An error in time perception. In P. Desain & L. Windsor (Eds.), *Rhythm perception and production* (pp. 115-127). Lisse, The Netherlands: Swets & Zeitlinger.
- Wolpe, N., Ingram, J. N., Tsvetanov, K. A., Geerligs, L., Kievit, R. A., Henson, R. N., Wolpert, D. M., & Rowe, J. B. (2016). Ageing increases reliance on sensorimotor prediction through structural and functional differences in frontostriatal circuits. *Nature Communications*, *7*, 13034.
- Woodrow, H. (1909) A quantitative study of rhythm. *Archives of Psychology*, *14*, 1–66.
- Word, C., Zanna, M. P., & Cooper, J. (1974). The nonverbal mediation of self-fulfilling prophecies in interracial interaction. *Journal of Experimental Social Psychology*, 109–120.
- Yaffe, K., Fox, P., Newcomer, R., Sands, L., Lindquist, K., Dane, K., & Covinsky, K. E. (2002). Patient and Caregiver Characteristics and Nursing Home Placement in Patients With Dementia. *JAMA*, *287*(16), 2090–2097.
- Yamazaki, R., Nishio, S., Ogawa, K., & Ishigur, H. (2012). Teleoperated android as an embodied communication medium: A case study with demented elderlies in a care facility. *2012 IEEE RO-MAN: The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, 1066–1071.
- Yan, J. H., Rountree, S., Massman, P., Doody, R. S., & Li, H. (2008). Alzheimer’s disease and mild cognitive impairment deteriorate fine movement control. *Journal of Psychiatric Research*, *42*(14), 1203–1212.
- Zatorre, R. J., Chen, J. L., & Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: Auditory–motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews Neuroscience*, *8*(7), 547–558.
- Zatorre, R. J. (2015). Musical pleasure and reward: Mechanisms and dysfunction. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1337*(1), 202–211.
- Zelaznik, H. N., Spencer, R. M. C., Ivry, R. B., Baria, A., Bloom, M., Dolansky, L., Justice, S., Patterson, K., & Whetter, E. (2005). Timing Variability in Circle Drawing and Tapping: Probing the Relationship Between Event and Emergent Timing. *Journal of Motor Behavior*, *37*(5), 395–403.

- Zentner, M., Grandjean, D., & Scherer, K. R. (2008). Emotions evoked by the sound of music: Characterization, classification, and measurement. *Emotion*, 8(4), 494–521.
- Zentner, M., & Eerola, T. (2010). Rhythmic engagement with music in infancy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201000121.