



HAL
open science

Synchronisation sensorimotrice et comportements non verbaux dans la maladie d'Alzheimer : l'influence du contexte social et musical

Matthieu Ghilain, Lise Hobeika, Loris Schiaratura, Micheline Lesaffre, Joren Six, Frank Desmet, Sylvain Clément, Séverine Samson

► To cite this version:

Matthieu Ghilain, Lise Hobeika, Loris Schiaratura, Micheline Lesaffre, Joren Six, et al.. Synchronisation sensorimotrice et comportements non verbaux dans la maladie d'Alzheimer : l'influence du contexte social et musical . *Psychologie & NeuroPsychiatrie du vieillissement*, 2020, 18, pp.213 - 222. 10.1684/pnv.2020.0861 . hal-03127136

HAL Id: hal-03127136

<https://hal.science/hal-03127136v1>

Submitted on 1 Feb 2021

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.

Synchronisation sensorimotrice et comportements non verbaux dans la maladie d'Alzheimer : l'influence du contexte social et musical

Sensorimotor synchronization and non-verbal behaviours in Alzheimer's disease: the influence of social and musical context

Matthieu Ghilain^{1*}, Lise Hobeika^{1,2*}, Loris Schiaratura¹, Micheline Lesaffre³, Joren Six³, Frank Desmet³, Sylvain Clément¹, and Séverine Samson^{1,4}

¹ Univ. Lille, EA 4072 – PSITEC – Psychologie : Interactions, Temps, Emotions, Cognition, F-59000 Lille, France

² Sciences et Technologies de la Musique et du Son, IRCAM, CNRS, Sorbonne Univ., F-75004 Paris, France

³ Ghent Univ., IPEM, Department of Arts, Music and Theater Sciences, B-9000 Ghent, Belgium

⁴ AP-HP, GHU Pitié-Salpêtrière-Charles Foix, F-75013 Paris, France

* Contribution égale

Corresponding author, severine.samson@univ-lille.fr

La version publiée de l'article est disponible à <http://dx.doi.org/10.1684/pnv.2020.0861>

Abstract

Background. Considering the limited efficacy of pharmacological treatments, the use of musical interventions as non-drug treatment for patients with Alzheimer's disease are strongly recommended. Musical interventions seem to improve the socio-emotional and cognitive functioning of these patients, with benefits increasing when patients are engaged at the motor level.

Objective. Our study evaluates the factors that may influence patients' socio-emotional and motor engagement during musical activities, and measures their sensorimotor synchronization (SMS) abilities. *Methods.* Each participant was asked to tap with a metronomic or musical rhythm, in the presence of a musician who performed the task with them. The presence of the musician was real (live condition) or virtual (video condition). Two tempi were tested: a slow tempo (Inter-Onset Interval of 800ms) and a fast tempo (Inter-Onset Interval of 667ms).

Results. Patients spontaneously produced more rhythmic movements in response to the music than to the metronome. However, the consistency and accuracy of sensorimotor synchronization were better with the metronome than with the music, and also better in video than in live condition. These effects were modulated by the tempo of the auditory sequences.

Conclusion. These results confirm the importance of the musical context and social interactions on these different performances. By evaluating in parallel the hand sensorimotor synchronization, spontaneous motor and socio-emotional behaviors with quantitative and controlled measurements, this study validates a multimodal approach to evaluate the patients' engagement in a musical task. These initial results open up promising application prospects while providing clinicians and researchers a rigorous methodology for understanding the factors that are at the origin of the therapeutic benefits of musical activities on the behavior and well-being of patients and their caregivers.

Keywords: Alzheimer's disease, Music therapy, Social interaction, Motor activity

Résumé

Cette étude vise à examiner les facteurs qui influencent l'engagement socio-émotionnel et moteur et la synchronisation sensorimotrice (SSM) pendant une activité musicale chez des patients présentant une maladie d'Alzheimer. La tâche consistait à taper avec un rythme métronomique ou musical devant une musicienne réalisant la même tâche, qui était présente physiquement ou virtuellement sur un écran. Selon nos résultats, les patients produisaient plus de mouvements rythmiques en réponse à la musique qu'au métronome. Cependant, la SSM était meilleure avec le métronome qu'avec la musique et en présence virtuelle plutôt que réelle de la musicienne. Ces données confirment l'importance du contexte musical et des interactions sociales sur l'engagement moteur et la synchronisation. En revanche, aucun effet sur l'engagement socio-émotionnel n'a été observé. En évaluant en parallèle la SSM, les comportements moteurs spontanés et socio-émotionnels à partir de mesures quantitatives, cette étude permet de valider une approche multimodale d'évaluation de l'engagement des patients dans une tâche musicale. Les perspectives d'applications prometteuses de ce travail mettent à la disposition des cliniciens et des chercheurs une méthodologie rigoureuse pour comprendre les facteurs qui sont à l'origine des bénéfices thérapeutiques des activités musicales sur le comportement et le bien-être des patients et de leurs aidants.

Mots clés : Maladie d'Alzheimer, Thérapie par la musique, Interaction sociale, Activité motrice

Points clés

- L'approche multimodale proposée permet l'étude quantifiée et contrôlée du comportement de patients atteints de maladie d'Alzheimer (MA)
- Les contextes sociaux et musicaux modifient l'engagement moteur et émotionnel mais aussi la synchronisation sensorimotrice (SSM) de patients atteints de MA lors d'une tâche musicale
- La musique augmente les comportements rythmiques spontanés des patients atteints de MA par rapport au métronome.
- La SSM des patients atteints de MA est meilleure en présence d'un partenaire virtuel plutôt que réel.

Introduction

La maladie d'Alzheimer (MA) est une maladie neurodégénérative qui affecte la cognition, notamment la mémoire, le langage [1,2], les relations sociales et les réactions émotionnelles [3,4]. En raison de l'efficacité limitée des traitements pharmacologiques dans ce domaine, les établissements de santé encouragent le développement d'approches non médicamenteuses [5]. A ce titre, des interventions musicales sont de plus en plus souvent proposées [6,7], afin d'améliorer l'état émotionnel, social et cognitif des patients, ainsi que le bien-être des aidants [8–10]. Ces interventions impliquent une grande variété d'activités musicales qui vont de l'écoute passive individuelle à la pratique de la musique en groupe. Les quelques études qui ont comparé l'efficacité de ces différentes activités ont montré des bénéfices plus importants lorsque les patients étaient engagés au niveau moteur dans l'activité musicale (en chantant par exemple) plutôt que lorsqu'ils écoutaient passivement la musique [11,12]. Il se pourrait alors que la stimulation motrice induite

par la musique joue un rôle clé dans les bénéfices émotionnels, sociaux et cognitifs de ces interventions, en particulier en promouvant la coordination interpersonnelle [13–15]. Toutefois, rares sont les études ayant évalué l'influence de l'activité musicale sur les comportements non verbaux et notamment sur les capacités à bouger en rythme chez les patients présentant une MA.

Les personnes présentant une MA semblent conserver une sensibilité intrigante à la musique, même aux stades avancés de la maladie [16,17]. Elles bougent spontanément au rythme de la musique, surtout lorsqu'un musicien joue devant eux. Cette influence sociale, largement décrite en psychologie sociale, démontre que la présence d'autrui pendant une tâche est un facteur fort, susceptible d'influencer les performances [18] et les réactions émotionnelles [19]. Chez les patients présentant une MA, plusieurs études ont rapporté que la production spontanée de mouvements rythmiques et le bien-être des patients étaient plus élevés lorsqu'un musicien chantait devant eux plutôt que lorsqu'un enregistrement audio de ce même musicien était présenté. Ces résultats, obtenus à partir du décodage des

vidéos [20,21] ou encore de l'enregistrement de la quantité de mouvements produits spontanément avec une plaque de force [22], suggèrent qu'observer un musicien qui chante et bouge avec le rythme musical pourrait inciter les patients à bouger, grâce aux phénomènes d'entraînement social.

La présence d'un musicien pourrait également faciliter l'engagement des patients dans une relation sociale et émotionnelle. Tout en étant plaisants, le chant ou la danse réalisés en groupe sur un rythme musical permettent de créer du lien social et moduler l'humeur [23,24]. Ce partage social des émotions se traduirait par la production d'expressions faciales qui reflètent l'état émotionnel d'un individu [25]. De tels signaux de communication non verbale seraient donc des indicateurs fiables de l'engagement socio-émotionnel dans une tâche [19,26] et de la qualité de la relation sociale, qu'il est possible de décoder chez des patients [9].

La capacité à bouger avec un rythme musical peut également être mesurée de manière précise à partir de la synchronisation sensorimotrice (SSM) de la main en réponse à une séquence auditive. Pour examiner la SSM, deux types de séquences sonores sont généralement utilisés : des séquences métronomiques ou des séquences musicales. Dans les séquences métronomiques, la structure rythmique est régulière et facile à percevoir, alors que dans les séquences musicales, elle est plus complexe puisqu'il faut extraire les battements (beats) forts de la musique pour la percevoir. La SSM est donc plus facile avec une séquence métronomique plutôt que musicale [27–29]. Deux mesures complémentaires permettent d'évaluer la SSM : la constance qui correspond à la régularité de la tape et l'asynchronie qui correspond à sa précision ou à son anticipation. Dans le domaine des pathologies neurodégénératives, la SSM au rythme musical a été très étudiée chez les patients souffrant d'une maladie de Parkinson, la SSM étant moins constante et moins anticipée que celle de témoins [30–32]. Aucune étude, à notre connaissance, n'a cependant examiné l'influence du contexte musical et de l'interaction sociale sur la SSM dans la MA.

La synchronisation de mouvements peut également survenir spontanément lorsque deux personnes bougent ensemble en rythme [33,34]. Plusieurs études ont montré que ce couplage moteur entre deux individus améliore la SSM à des stimuli extérieurs [35,36] suggérant à nouveau l'influence du contexte social sur la réponse motrice. Ainsi, la présence d'un musicien réalisant la tâche de SSM avec les patients pourrait améliorer la synchronisation de leurs mouvements avec un rythme musical au cours des interventions musicales.

L'objectif de notre étude vise à mesurer l'impact de l'interaction sociale et du contexte musical sur l'engagement moteur et socio-émotionnel des personnes présentant une MA, ainsi que sur la SSM. Pour ce faire, des patients présentant une MA ont réalisé une tâche de SSM impliquant de taper avec la main au rythme d'une séquence

métronomique ou musicale en présence d'une musicienne. La musicienne réalisait la tâche de synchronisation avec le patient. Elle pouvait être présente physiquement en face du patient (condition live), ou présente virtuellement à travers une vidéo préenregistrée et projetée en taille réelle en face du patient (condition vidéo). Deux tempi de présentation ont été utilisés pour les séquences sonores : un tempo rapide (*Inter-Onset Interval* (IOI) de 667 ms) proche du tempo moteur spontané des personnes âgées de 75 ans et plus [37], et un tempo plus lent (IOI de 800 ms) proche du tempo moteur spontané des personnes présentant une MA [38]. Plusieurs mesures ont été recueillies avec chaque patient. L'engagement moteur des patients a été évalué grâce à la quantité de mouvements corporels [22], et rythmiques [20,21] produits spontanément. L'engagement socio-émotionnel était examiné par la production d'expressions faciales émotionnelles, positives et négatives [39]. Enfin, la SSM était mesurée à partir de la constance et de la précision de la frappe de la main. En accord avec la littérature, la SSM devrait être plus constante et plus anticipée en réponse au métronome qu'en réponse à la musique. Cependant, l'interaction sociale dans la condition live devrait augmenter la constance et l'anticipation de la SSM, tout en améliorant l'engagement moteur et socio-émotionnel des patients, par comparaison à la condition vidéo. Étant donné que la musique est considérée comme un facteur de stimulation motrice et de cohésion sociale [23,24], la musique devrait augmenter la production de comportements rythmiques et émotionnels par rapport au métronome, et cet effet devrait s'accroître en présence live. Enfin, bien que l'impact du tempo n'ait pas été systématiquement étudié dans la littérature, il se pourrait que les performances s'améliorent avec un tempo lent, proche du tempo spontané de ces patients.

Matériels et Méthodes

Participants

Trente-deux personnes présentant une MA à un stade léger/modéré à sévère ont été recrutées dans un établissement pour personnes âgées (Woon-en Zorgcentrum Home Sint-Franciscus, Kluisbergen, Belgique). Les critères d'inclusion étaient : (1) diagnostic clinique de démence probable de type Alzheimer, vasculaire ou mixte selon le DSM 5e édition [40], (2) langue maternelle flamande, (3) latéralisation manuelle droite, (4) absence d'antécédents psychiatriques graves, de toxicomanie ou de changements récents de médicaments psychotropes, (5) 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 ($89 \pm 4,5$

ans ; 4 hommes). Parmi eux, 21 n'avaient jamais joué d'instrument de musique. L'efficacité cognitive globale a été évaluée à l'aide du MMSE [41] réalisé au cours des six derniers mois (MMSE : $17,4 \pm 4,9$). L'étude a reçu l'approbation du comité d'éthique 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

Le dispositif expérimental était constitué de deux plaques de forces mesurant les mouvements corporels. L'une était placée sous la chaise du participant. Une tablette équipée d'un capteur de force et fixée sur l'accoudoir droit de la chaise permettait au participant de réaliser la tâche de SSM en tapant sur la tablette avec sa main (**Figure 1.C**). Sur l'autre plaque se trouvait la musicienne, debout face au participant, qui tapait également sur une tablette avec sa main droite.

Deux contextes sociaux, live et vidéo, étaient testés. Dans la condition live, la musicienne était en face du participant à 250cm (**Figure 1.A**). Dans la condition vidéo, la musicienne apparaissait en face du participant sur un écran grandeur nature (125 x 165cm) à 270 cm (**Figure 1.B**), le dispositif étant, par ailleurs, strictement identique. Deux caméras enregistraient le patient et la musicienne pendant l'expérience. Un rideau isolait le participant et la musicienne de l'activité environnante pendant la tâche.

Deux types de séquences auditives (60 secondes chacune) ont été utilisées: les séquences métronomiques et les séquences musicales toutes deux présentées à un tempo 'rapide' (IOI de 667 ms) ou 'lent' (IOI de 800 ms). Les séquences métronomiques étaient composées de battements réguliers. Les séquences musicales étaient extraites de quatre chansons néerlandaises/belges très connues des personnes âgées, dont deux avaient un tempo rapide (IOI de 667 ms), et deux un tempo lent (IOI de 800 ms) (voir **matériel supplémentaire 1.1**). Les stimuli étaient joués par un haut-parleur à un niveau sonore confortable.

Plan expérimental et procédure

Chaque participant, testé individuellement, avait pour consigne de taper avec sa main droite sur la tablette à chaque beat des séquences auditives. Les séquences étaient métronomiques ou musicales, lentes ou rapides. La musicienne tapait également sur sa tablette à chaque beat des séquences auditives, que ce soit en condition live ou vidéo. De plus, elle prononçait « ta » à chaque battement de la séquence métronomique et chantait les paroles des chansons de la séquence musicale. Le participant et la musicienne réalisaient ensemble la tâche de SSM.

Le plan expérimental de la tâche de SSM incluait les facteurs intra-sujets CONTEXTE SOCIAL (Vidéo/Live), AUDIO (Métronome/Musique) et TEMPO (Lent/Rapide). Pour les séquences musicales, deux chansons différentes étaient utilisées pour chaque condition. Les scores de ces deux chansons étaient moyennés.

Analyses des comportements spontanés

La **quantité globale de mouvements** du corps a été mesurée grâce aux plaques de forces du participant et de la musicienne [22]. Le décodage *a posteriori* des comportements non verbaux des participants a été réalisé en aveugle par cinq observateurs sur base d'enregistrements vidéos. Trois types de comportements ont été décodés : (1) **les comportements rythmiques** correspondant aux mouvements rythmiques de la tête, des lèvres, des membres inférieurs, et du membre supérieur gauche, (2) **les comportements non rythmiques** comprenant les mouvements non rythmiques de la tête, des membres inférieurs et du membre supérieur gauche, (3) **les comportements sociaux et émotionnels** correspondant aux expressions faciales émotionnelles (EFE) positives (joie) et négatives (tristesse, colère, dégoût, peur) (voir **matériel supplémentaire 1.2**).

Analyses de la tâche de synchronisation sensorimotrice (SSM)

Pour chaque condition, 64 battements ont été retenus pour les analyses. La SSM des participants a été analysée à l'aide des statistiques circulaires [42] (voir **matériel supplémentaire 1.3**), qui permettent de quantifier la SSM lorsqu'il n'y a pas de correspondance parfaite entre le nombre de frappes et le nombre de beats [28,36]. Deux mesures complémentaires évaluant la SSM ont été extraites: **la constance** (qui correspond à la régularité) et **l'asynchronie** (qui correspond à la précision ou à l'anticipation lorsque l'asynchronie est négative).

La SSM de la musicienne en conditions live a été analysée (pour vérifier qu'elle était comparable dans chaque condition). Étant donné ses très bonnes performances (pas de frappe supplémentaire ou de frappe omise), la précision et la variabilité de la synchronisation ont été analysées en calculant respectivement la moyenne et le coefficient de variation des asynchronies signées.

Résultats

Les valeurs obtenues pour chaque comportement et dans chaque condition expérimentale sont présentées dans les **Tableaux S1 et S2** (voir **matériel supplémentaire**).

Production de comportements moteurs spontanés

Une ANOVA à trois mesures répétées a été réalisée sur chaque comportement moteur spontané.

Aucun effet ou interaction des facteurs AUDIO, SOCIAL et TEMPO n'a été obtenu sur la quantité globale de mouvements, les mouvements rythmiques de la tête, les mouvements rythmiques du bras gauche et les mouvements non rythmiques.

En revanche, un effet principal du facteur AUDIO sur les mouvements des lèvres (chant) ($F_{(1,25)} = 34,73$, $p < ,001$, $\eta_p^2 = ,58$) et les mouvements rythmiques des membres inférieurs ($F_{(1,25)} = 11,35$, $p < ,01$, $\eta_p^2 = ,31$) a été mis en évidence. Pour ces deux comportements, le pourcentage de durée de mouvements était plus important dans la condition musicale que métronomique (*Lèvres* : métronome $M = ,19 \pm ,04$ % ; musique $M = ,44 \pm ,06$ % ; Test post-hoc de Fisher : $p < ,001$; *Membres inférieurs* : métronome $M = ,14 \pm ,05$ % ; musique $M = ,23 \pm ,06$ % ; Test post-hoc de Fisher : $p < ,01$). Cependant, aucun autre effet principal ou interaction n'a été observée.

Comportements socio-émotionnels

L'analyse incluant le facteur intra-sujet VALENCE (Positif/Négatif), en plus des facteurs CONTEXTE SOCIAL, AUDIO et TEMPO sur la production spontanée d'expressions faciales émotionnelles n'a montré aucun effet ou interaction significatif.

Synchronisation sensorimotrice (SSM)

Constance de la synchronisation (régularité)

L'ANOVA à mesures répétées a mis en évidence un effet du facteur CONTEXTE SOCIAL ($F_{(1,25)} = 20,98$, $p < ,001$, $\eta_p^2 = ,46$), ainsi qu'une interaction significative entre les facteurs CONTEXTE SOCIAL et TEMPO ($F_{(1,25)} = 10,45$, $p < ,01$, $\eta_p^2 = ,21$), suggérant que le tempo influence la SSM différemment en fonction du type de présence sociale (voir **Figure 2.A**). La synchronisation était plus constante dans la condition vidéo que dans la condition live et cette différence était plus importante avec un tempo lent de 800 ms (test post-hoc de Fisher : $p < ,001$) qu'avec un tempo rapide de 667 ms (test post-hoc de Fisher : $p < ,05$).

L'analyse a également montré un effet du facteur AUDIO ($F_{(1,25)} = 8,50$, $p < ,01$, $\eta_p^2 = ,25$), ainsi qu'une interaction significative entre les facteurs AUDIO et TEMPO ($F_{(1,25)} = 4,13$, $p = ,05$, $\eta_p^2 = ,14$), suggérant que le tempo influence la SSM différemment en fonction du type de séquence sonore (voir **Figure 2.B**). Avec un tempo rapide de 667 ms, la SSM était significativement plus constante avec un métronome plutôt qu'avec la musique (test post-hoc de Fisher : $p < 0,001$). Avec un tempo lent de 800 ms, aucune différence n'a été observée entre la constance de la SSM entre le métronome et la musique.

Précision de la synchronisation (asynchronie signée)

Une ANOVA à trois mesures répétées a montré des effets des facteurs CONTEXTE SOCIAL ($F_{(1,25)} = 21,24$, $p < ,001$, $\eta_p^2 = ,46$) et AUDIO ($F_{(1,25)} = 4,26$, $p = ,050$, $\eta_p^2 = ,15$) ainsi qu'une interaction significative entre les facteurs CONTEXTE SOCIAL et AUDIO ($F_{(1,25)} = 15,90$, $p < ,001$, $\eta_p^2 = ,39$) sur l'asynchronie signée. Dans la condition musicale, l'asynchronie variait en fonction du contexte social (Test post-hoc de Fisher : $p < ,001$): la frappe étant anticipée en présence vidéo et retardée en présence live (voir **Figure 3.A**). Dans la condition métronomique, en revanche, l'asynchronie ne variait pas en fonction du contexte social.

L'analyse a également montré un effet significatif du facteur TEMPO ($F_{(1,25)} = 18,75$, $p < ,001$, $\eta_p^2 = ,43$) révélant que l'anticipation était plus importante avec le tempo lent de 800ms qu'avec le tempo rapide de 667 ms (Test post-hoc de Fisher : $p < ,001$) (voir **Figure 3.B**).

Performances de la musicienne

La quantité de mouvements de la musicienne, ainsi que la variabilité et la précision de sa SSM ont été analysées pour les conditions live avec une ANOVA à deux mesures répétées (facteurs AUDIO (Métronome/Musique) et TEMPO (Rapide/Lent).

L'analyse a mis en évidence un effet du facteur AUDIO ($F_{(1,25)} = 171,74$, $p < ,001$, $\eta_p^2 = ,87$): la quantité de mouvements était plus élevée avec la musique ($M = 4,71 \pm ,15$ mV) qu'avec le métronome ($M = 2,35 \pm ,22$ mV; Test post-hoc de Fisher : $p < ,001$).

L'analyse de l'asynchronie de la SSM de la musicienne a également montré un effet du facteur AUDIO ($F_{(1,25)} = 29,16$, $p < ,001$, $\eta_p^2 = ,54$). Les frappes étaient plus anticipées avec le métronome ($M = 1,11 \pm ,70$ ms) qu'avec la musique ($M = 5,74 \pm ,84$ ms; Test post-hoc de Fisher : $p < ,001$).

L'analyse du coefficient de variation de la SSM de la musicienne a aussi mis en évidence un effet du facteur AUDIO ($F_{(1,25)} = 10,90$, $p < ,01$, $\eta_p^2 = ,30$). Les coefficients de variation étaient plus faibles avec le métronome ($M = 1,25 \pm ,18$ ms) qu'avec la musique ($M = 2,07 \pm ,26$ ms; Test post-hoc de Fisher : $p < ,01$).

Discussion

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact de l'interaction sociale et de la musique sur l'engagement moteur et socio-émotionnel de personnes présentant une MA, ainsi que sur la SSM en réponse à des séquences auditives et rythmiques. Pour ce faire, le contexte social a été manipulé en comparant une condition de présence

physique (Live) à une condition de présence préenregistrée (Vidéo) d'une chanteuse réalisant la tâche de SSM en face du patient. La tâche de synchronisation consistait à taper avec la main au rythme d'une séquence musicale ou d'une séquence métronomique. Deux tempi ont été testés, un rapide (IOI de 667ms) et un lent (IOI de 800ms). Comme attendu, les participants étaient plus engagés au niveau moteur avec la musique qu'avec un métronome. Cependant, aucune différence n'a été trouvée au niveau de l'engagement socio-émotionnel. Les résultats ont également montré que le type de séquence auditive affectait la SSM des participants, qui était plus constante et plus anticipée en réponse à une séquence métronomique que musicale. De plus, un effet du contexte social sur la SSM a été mis en évidence. Contrairement à nos prédictions, la SSM des patients était plus constante et plus anticipée en présence vidéo qu'en présence live. L'effet du contexte social sur l'anticipation était plus important avec la musique que le métronome. Enfin, il est apparu que le tempo pouvait influencer de manière subtile la constance et la précision de la SSM.

En accord avec nos prédictions, la musique améliore l'engagement moteur des personnes avec MA comme en témoigne l'augmentation de la production spontanée de mouvements rythmiques des membres inférieurs et des lèvres en réponse à la musique par comparaison au métronome. Ces résultats confortent l'idée que la musique présente des caractéristiques stimulantes et motivantes en terme d'activation motrice [43] et que l'écoute de chansons familières incite les patients à chanter spontanément. Contrairement à nos attentes, le contexte social ne semble pas influencer la production spontanée de ces mouvements rythmiques. Ce résultat suggère que la présence sociale d'autrui en condition vidéo (stimulation audio-visuelle) suffit à inciter les patients à bouger au rythme de la musique.

De manière surprenante, nous n'avons pas réussi à mettre en évidence un effet du contexte auditif ou social sur la production d'EFE. Toutefois, les réponses émotionnelles de ces patients pendant la tâche étaient très peu nombreuses, soulevant la question de la diminution des EFE avec la MA. Selon une étude récente, le plaisir suscité par l'écoute de la musique diminuerait avec l'avancement de la MA [44]. Il se pourrait alors que la modification de l'état émotionnel liée à la progression de la maladie se traduise dans notre cas par un nombre très limité d'EFE, suggérant une réduction de l'engagement socio-émotionnel chez ces patients. Il faudrait cependant pour le confirmer comparer la production spontanée d'EFE des patients à celles de témoins appariés.

Les scores de SSM des patients étaient moins constants et moins anticipés en réponse à la musique qu'au métronome. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus auprès de jeunes adultes [27–29] et de personnes atteintes de la maladie de Parkinson [45], démontrant que la complexité

du rythme de la séquence musicale diminue la constance et l'anticipation de la SSM par comparaison au métronome. En effet, la SSM avec une séquence musicale nécessite d'extraire et d'anticiper les beats forts d'une mélodie. Une telle synchronisation est donc plus difficile à réaliser qu'une synchronisation avec une séquence régulière métronomique composée ici exclusivement de beats forts. Pour s'assurer que ces résultats ne s'expliquent pas par les performances de la musicienne, nous avons examiné ses scores de SSM. Comme chez les patients, ils étaient meilleurs avec le métronome qu'avec la musique. Cependant, la différence de synchronisation de la musicienne entre ces deux conditions était trop petite (environ 5ms) pour expliquer l'effet observé sur la synchronisation des patients.

Les résultats ont aussi montré que la SSM des participants était sensible au contexte social. Ce résultat est cohérent avec les données obtenues chez le sujet sain et les enfants, suggérant que le contexte social peut moduler les performances de SSM [35,36]. Pourtant, à l'inverse des effets observés dans la littérature, la frappe des participants était plus constante et plus anticipée lorsqu'ils étaient face à une vidéo de la musicienne, plutôt qu'à sa présence physique. Plusieurs interprétations peuvent expliquer la moins bonne performance obtenue en présence live de la musicienne. Il se peut que le couplage spontané entre les mouvements du patient et ceux de la musicienne entre en compétition avec la tâche de SSM [46]. Cette explication semble peu probable au vu de la très bonne précision rythmique de la chanteuse. Une autre interprétation serait que la détérioration des performances en condition live viendrait de la présence d'autrui pendant la tâche. Comme cela a été montré en psychologie sociale, la seule présence d'un observateur peut moduler les performances à une tâche [18]. En augmentant la charge cognitive, ou la pression sociale, la présence réelle d'autrui détériorerait les performances. Évaluer l'attention et la cognition sociale (anxiété sociale, empathie) des patients permettrait de mieux comprendre cet effet.

Notre étude a aussi mis en évidence l'importance du tempo qui modifie la SSM des participants en influençant de manière subtile la constance de la SSM. Tandis que l'effet du contexte social sur la constance est plus prononcé avec un tempo lent, l'effet du contexte auditif apparaît avec un tempo rapide et non avec un tempo lent. Le tempo module également la précision de la SSM, la frappe étant plus anticipée avec un tempo lent qu'avec un tempo rapide quelque soit le contexte. Bien que ces résultats restent difficiles à interpréter, ils soulignent l'importance du choix du tempo dans les tâches de SSM. Selon nos résultats, un tempo lent, proche du tempo moteur spontané des patients [38], semblerait améliorer la constance et l'anticipation de la tape.

Les résultats montrent que les personnes atteintes de MA sont capables de synchroniser leurs mouvements

avec un rythme sonore. Cependant, il est difficile de se prononcer sur l'existence d'un déficit de SSM en présence de la MA étant donné l'absence d'un groupe de témoins appariés. Deux études ont cependant montré une dégradation des performances chez des patients présentant un MA par comparaison à des témoins dans des tâches de continuation d'un rythme métronomique [47,48] ou de coordination motrice [49,50]. Cette interprétation semble appuyée par les données d'une étude que nous avons récemment menée avec une tâche comparable de SSM chez des patients souffrant de MA à un stade moins avancé que ceux de la présente étude et chez des témoins appariés [51]. Bien qu'aucune différence entre ces deux derniers groupes n'ait été observée, les analyses préliminaires suggèrent que les scores de SSM des patients de la présente étude (stade modéré à sévère) semblent déficitaires par rapport à ceux des patients à un stade plus précoce de la maladie et à ceux des témoins. Cette baisse de performance pourrait résulter d'un déclin de la synchronisation qui se manifesterait avec l'avancée de la maladie mais bien évidemment cette interprétation devra être confirmée dans le futur.

Pour conclure, les résultats de notre étude montrent qu'il est possible de recueillir en parallèle et de manière très contrôlée des informations quantitatives et qualitatives pour mesurer précisément l'engagement moteur et socio-émotionnel ainsi que la motricité fine des personnes âgées souffrant ou non d'une pathologie neurodégénérative. Bien que la rigueur expérimentale soit souvent difficile à concilier avec les contraintes de la réalité clinique, notamment dans le domaine du vieillissement pathologique, ce paradigme expérimental, qui repose sur une tâche de tapping réalisée en présence d'autrui dans le cadre d'une action conjointe, semble adapté pour évaluer la SSM. Ainsi, cette étude a permis de valider un dispositif expérimental composé d'une chaise équipée de plusieurs capteurs et de vidéos pour mesurer et enregistrer la SSM tout en évaluant la production de comportements non verbaux en lien avec les mouvements rythmiques du corps et la qualité de la relation sociale, chez des patients qui présentent des facultés cognitives altérées (diminution de l'attention, troubles de la motricité, de la motivation et de la communication). Cette approche multimodale offre la possibilité de mesurer les effets des interventions musicales sur plusieurs niveaux de performance simultanément chez une même personne. Par conséquent, évaluer la motricité fine avec la SSM mais aussi les comportements moteurs spontanés et les réactions socio-émotionnelles en présence d'un partenaire virtuel met à la

disposition des chercheurs et des cliniciens un outil de mesure rigoureux pour évaluer l'impact des interventions musicales et nous aider à mieux comprendre les raisons qui sont à l'origine de leurs bénéfices thérapeutiques sur le comportement et le bien-être des patients. Ce paradigme présente aussi l'originalité d'examiner l'impact de l'interaction sociale induit par la présence live d'un partenaire par comparaison à sa présence vidéo sur ces manifestations comportementales et émotionnelles. En montrant qu'il est possible d'inciter un patient à se synchroniser avec autrui, et cela même en présence d'un enregistrement vidéo, les résultats de notre étude ouvrent des perspectives thérapeutiques prometteuses pour les patients qui vivent à domicile dans des régions éloignées ou en confinement. L'idée n'est pas de remplacer la présence réelle par une présence virtuelle mais plutôt de compléter des interventions classiques en présence réelle d'autrui par des interventions en présence virtuelle, plus faciles à mettre en place et moins coûteuses, afin de diminuer l'isolement social au quotidien. Pouvoir bénéficier de prises en charge régulières grâce à l'utilisation d'enregistrement vidéo et de la technologie mobile permettrait de contourner les difficultés liées à l'éloignement géographique des patients qui ne serait plus un obstacle majeur à ce type de prise en charge.

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 Étrangères (partenariat Hubert Curien) à S.S. et à M.L., de la Fondation France Alzheimer à S.S. ainsi que l'Institut Universitaire de France à S.S. Cette recherche a été menée en coopération avec le département de Musicologie de l'université de Gand, et financée par le projet « Expressive Music Interaction » qui est soutenu financièrement par le gouvernement Flamand (subvention Methusalem). Les auteurs souhaitent remercier Ivan Schepers de l'Université de Gand pour le développement du matériel. Nous sommes spécialement reconnaissants à Linda Vanderstichele, musicienne qui a participé à 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 l'absence de conflit d'intérêt

Références

1. Feyereisen P, Hupet M. Pragmatic skills in the early stages of Alzheimer's disease: an analysis by means of a referential communication task. *Int J Lang Commun Disord* 2007 ; 42 : 1–17.
2. Potkins D, Myint P, Bannister C, Tadros G, Chithramohan R, Swann A, *et al.* Language impairment in dementia: Impact on symptoms and care needs in residential homes. *Int J Geriatr Psychiatry* 2003 ; 18 : 1002–6.
3. Bediou B, Ryff I, Mercier B, Millierey M, Hanaff MA, D'Amato T, *et al.* Impaired social cognition in mild Alzheimer disease. *J Geriatr Psychiatry Neurol* 2009 ; 22 : 130–40.
4. Christensen H, Griffiths K, Mackinnon A, Jacomb P. A quantitative review of cognitive deficits in depression and Alzheimer-type dementia. *J Int Neuropsychol Soc* 1997 ; 3 : 631–51.
5. National Institute for Health and Care Excellence. Dementia: Assessment, management and support for people living with dementia and their carers 2018.
6. Sihvonen AJ, Särkämö T, Leo V, Tervaniemi M, Altenmüller E, Soinila S. Music-based interventions in neurological rehabilitation. *Lancet Neurol* 2017 ; 16 : 648–60.
7. Steen JT van der, Soest-Poortvliet MC Van, Wouden JC Van Der, Bruinsma MS, Scholten RJ, Vink AC. Music-based therapeutic interventions for people with dementia (Review). *Cochrane Database Syst Rev* 2018 ; 7.
8. Choi AN, Lee MS, Cheong KJ, Lee JS. Effects of group music intervention on behavioral and psychological symptoms in patients with dementia: A pilot-controlled trial. *Int J Neurosci* 2009 ; 119 : 471–81.
9. Narme P, Clément S, Ehrlé N, Schiaratura L, Vachez S, Courtaigne B, *et al.* Efficacy of musical intervention in dementia: evidence from a randomized controlled trial. *J Alzheimer's Dis* 2014 ; 38 : 31–42.
10. Ueda T, Suzukamo Y, Sato M, Izumi SI. Effects of music therapy on behavioral and psychological symptoms of dementia: A systematic review and meta-analysis. *Ageing Res Rev* 2013 ; 12 : 628–41.
11. Sakamoto M, Ando H, Tsutou A. Comparing the effects of different individualized music interventions for elderly individuals with severe dementia. *Int Psychogeriatrics* 2013 ; 25 : 775–84.
12. Särkämö T, Tervaniemi M, Laitinen S, Numminen A, Kurki M, Johnson JK, *et al.* Cognitive, emotional, and social benefits of regular music activities in early dementia: Randomized controlled study. *Gerontologist* 2014 ; 54 : 634–50.
13. Ghilain M, Schiaratura L, Singh A, Lesaffre M, Samson S. Is music special for people with dementia. In : Baird A, Garrido S, Tamplin J, eds. *Music and dementia: from cognition to therapy*. 2019 : 24.
14. Cason N, Schiaratura L, Samson S. Synchronization to music as a tool for enhancing non-verbal communication in people with neurological diseases. In *The Routledge Companion to Embodied Music Interaction*. Routledge, 2017 : 304–12.
15. Hobeika L, Samson S. Why music-based interventions benefit to persons with neurodegenerative disease? In : Cuddy, Belleville M, ed. *Music and the Aging Brain*. Academic Press, 2019.
16. Baird A, Samson S. Music and dementia. *Prog Brain Res* 2015 ; 217 : 207–35.
17. Johnson JK, Chang C-C, Brambati SM, Migliaccio R, Gorno-Tempini ML, Miller BL, *et al.* Music recognition in frontotemporal lobar degeneration and Alzheimer disease. *Cogn Behav Neurol Off J Soc Behav Cogn Neurol* 2011 ; 24 : 74–84.
18. Zajonc RB. Social facilitation. *Science* 1965 ; 149 : 269–74.
19. Chovil N. Social determinants of facial displays. *J Nonverbal Behav* 1991 ; 15 : 141.
20. Holmes C, Knights A, Dean C, Hodkinson S, Hopkins V. Keep music live: music and the alleviation of apathy in dementia subjects. *Int Psychogeriatrics* 2006 ; 18 : 623–30.
21. Sherratt K, Thornton A, Hatton C. Emotional and behavioural responses to music in people with dementia: an observational study. *Ageing Ment Heal* 2004 ; 8 : 233–41.
22. Lesaffre M, Moens B, Desmet F. Monitoring music and movement interaction in people with dementia. *The Routledge Companion to Embodied Music Interaction*. Routledge, 2017 : 294–303.
23. Hove MJ, Risen JL. It's all in the timing: interpersonal synchrony increases affiliation. *Soc Cogn* 2009 ; 27 : 949–60.
24. Tarr B, Launay J, Dunbar RIM. Music and social bonding : “ self-other ” merging and neurohormonal mechanisms. *Front Psychol* 2014 ; 5.
25. Shariff AF, Tracy JL. What are emotion expressions for? *Curr Dir Psychol Sci* 2011 ; 20 : 395–9.
26. Fridlund AJ. Sociality of solitary smiling : potentiation by an implicit audience. *J Pers Soc Psychol* 1991 ; 60 : 229–40.
27. Aschersleben G. Temporal Control of Movements in Sensorimotor Synchronization. *Brain Cogn* 2002 ; 48 : 66–79.
28. Sowiński J, Dalla Bella S. Poor synchronization to the beat may result from deficient auditory-motor mapping. *Neuropsychologia* 2013 ; 51 : 1952–63.
29. Dalla Bella S, Farrugia N, Benoit C, Bégel V, Verga L, Harding E, *et al.* BAASTA : Battery for the Assessment of Auditory Sensorimotor and Timing Abilities. *Behav Res Methods* 2016 ; 49 : 1128–45.
30. Bienkiewicz MMN, Craig CM. Parkinson's is time on your side? evidence for difficulties with sensorimotor synchronization. *Front Neurol* 2015 ; 6 : 249.
31. Cock VC De, Dotov DG, Ihalainen P, Bégel V, Galtier F, Lebrun C, *et al.* Rhythmic abilities and musical training in Parkinson's disease : do they help? *NPJ Park Dis* 2018 ; 4 : 1–8.
32. Merchant H, Luciana M, Hooper C, Majestic S, Tuite P. Interval timing and Parkinson's disease : heterogeneity in temporal performance. *Exp Brain* 2008 ; 184 : 233–48.
33. Oullier O, Guzman GC De, Jantzen KJ, Lagarde J, Kelso JAS. Social coordination dynamics: Measuring human bonding. *Soc Neurosci* 2008 ; 3 : 178–92.
34. Ulzen NR van, Lamoth CJC, Daffertshofer A, Semin GR, Beek PJ. Characteristics of instructed and uninstructed interpersonal coordination while walking side-by-side. *Neurosci Lett* 2008 ; 432 : 88–93.
35. 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.
36. Kirschner S, Tomasello M. Joint drumming: Social context facilitates synchronization in preschool children. *J Exp Child Psychol* 2009 ; 102 : 299–314.
37. McAuley JD, Jones MR, Holub S, Johnston HM, Miller NS. The time of our lives : life span development of timing and event tracking. *J Exp Psychol Gen* 2006 ; 135 : 348–67.
38. Rabinowitz I, Lavner Y. Association between finger tapping, attention, memory, and cognitive diagnosis in elderly patients. *Percept Mot Skills* 2014 ; 119 : 259–78.
39. Ekman P, Friesen W V, Ellsworth P. *Emotion in the human face: guidelines for research and an integration of findings.*, 11th ed. Elsevier, 2013.

40. American Psychiatric Association. *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*. American Psychiatric Pub., 2013.
41. Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. A practical state method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J Psychiatr Res* 1975 ; 12 : 189–98.
42. Fisher NI. *Statistical analysis of circular data*. Cambridge University Press, 1995.
43. Styns F, Noorden L Van, Moelants D, Leman M. Walking on music. *Hum Mov Sci* 2007 ; 26 : 769–85.
44. Garrido S, Stevens CJ, Chang E, Dunne L, Perz J. Music and dementia : individual differences in response to personalized playlists. *J Alzheimer's Dis* 2018 ; 64 : 933–41.
45. Benoit C, Bella SD, 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 : 1–11.
46. Demos AP, Chaffin R, Begosh KT, Daniels JR, Marsh KL. Rocking to the beat: effects of music and partner's movements on spontaneous interpersonal coordination. *J Exp Psychol Gen* 2012 ; 141 : 49–53.
47. Bangert AS, Balota DA. Keep up the pace: declines in simple repetitive timing differentiate healthy aging from the earliest stages of Alzheimer's disease. *J Int Neuropsychol Soc* 2012 ; 18 : 1052–63.
48. Martin E, Blais M, Albaret J, Pariente J, Tallet J. Human movement science alteration of rhythmic unimanual tapping and anti-phase bimanual coordination in Alzheimer's disease : a sign of inter-hemispheric disconnection ? *Hum Mov Sci* 2017 ; 55 : 43–53.
49. Kluger A, Gianutsos JG, Golomb J, Ferris SH, Reisberg B. Motor/psychomotor dysfunction in normal aging, mild cognitive decline, and early alzheimer's disease: diagnostic and differential diagnostic features. *Int Psychogeriatrics* 1997 ; 9 : 307–16.
50. Yan JH, Rountree S, Massman P, Doody RS, Li H. Alzheimer's disease and mild cognitive impairment deteriorate fine movement control. *J Psychiatr Res* 2008 ; 42 : 1203–12.
51. Ghilain M, Hobeika L, Lesaffre M, Schiaratura L, Singh A, Six J, *et al*. Does a life performance impacts rhythmic synchronization to music and metronome in Alzheimer disease and in normal aging? *in prep*

Figure 1. Dispositif expérimental. (A) La musicienne en condition live, tape sur une tablette avec sa main droite au rythme des séquences auditives. (B) La musicienne en condition vidéo, projetée sur un écran à taille réelle. Elle réalise la même tâche qu'en condition live. (C) Une participante tape sur la tablette en réponse au rythme des séquences auditives. Sa chaise est posée sur une plaque de force enregistrant ses mouvements

Figure 1 Experimental set-up. (A) The musician in live condition taps on the tablet with her right hand to the rhythm of the auditory sequences. (B) The musician in video condition, projected on a life-size screen. She performs the same task as in the live condition. (C) The participant taps on the tablet to the auditory sequences rhythm.

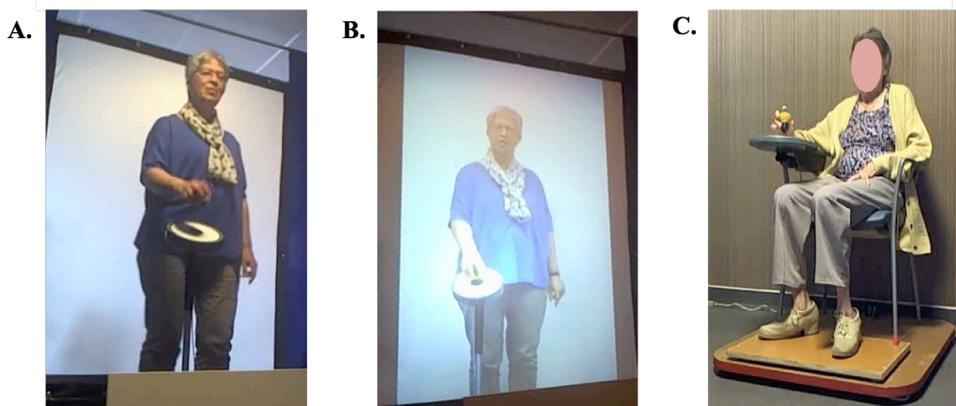


Figure 2. Moyenne de la constance de la SSM (\pm SE) (A) en fonction du contexte social (Vidéo/Live) et du tempo (Lent/Rapide), (B) en fonction du contexte social (Vidéo/Live) et de la séquence auditive (Métronomie/Musique). Plus la constance est élevée, plus la frappe est régulière (avec 1 : régularité parfaite). *($p < .05$) ***($p < .001$)

Figure 2. Mean SMS consistency (\pm SE) (A) in function of the the social context (Video/Live) and the tempo (Slow/Fast), (B) in function of the social context (Video/Live) and the auditory sequence (Metronome/Music). The higher the consistency value, the more regular the tapping (with 1 : perfect regularity).

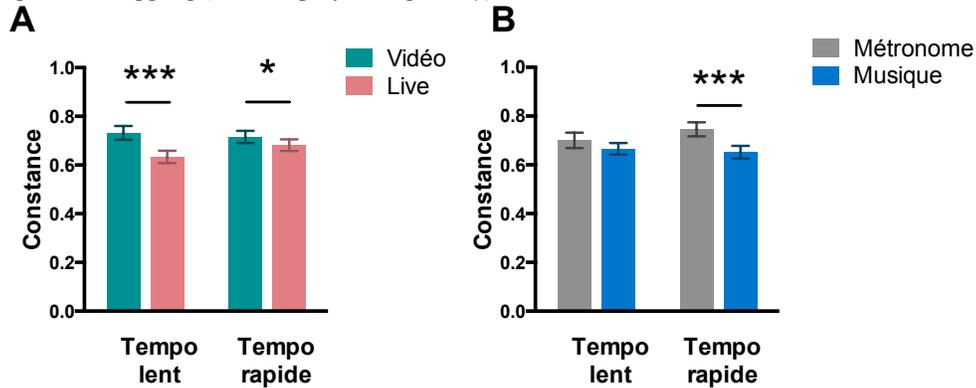


Figure 3. Moyenne de l'asynchronie de la SSM en millisecondes (\pm SE) (A) en fonction du contexte social (Vidéo/Live) de la séquence auditive (Métronomie/Musique), (B) en fonction du tempo (Lent ou Rapide). Une valeur négative correspond à une frappe avant le beat, une valeur positive correspond à une frappe après le beat. ***($p < ,001$).

Figure 3. Mean of the SMS Asynchrony in milliseconds (\pm SE) (A) as a function of the social context (Video/Live) and of the auditory sequence (Metronome/Music), (B) as a function of the tempo (Slow/Fast). A negative value corresponds to a tap preceding the beat, a positive value corresponds to a tap after the beat.

