

**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 Ghilain¹, Loris Schiaratura¹, Micheline Lesaffre², Lise Hobeika^{1,3}, Joren Six², Frank Desmet²,
Sylvain Clément¹, and Séverine Samson^{1,4*}

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 CNRS, Ircam, Sorbonne Université, Ministère de la Culture, Sciences et Technologies de la Musique et
du son, STMS, F-75004 Paris, France

⁴ AP-HP, GH Pitié-Salpêtrière- Charles Foix, Paris, France

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

Résumé

Cette étude vise à examiner les facteurs qui influencent l'engagement socio-émotionnel et moteur ainsi que la synchronisation sensorimotrice pendant une activité musicale chez des patients présentant une maladie d'Alzheimer. Ces derniers devaient taper avec un rythme métronomique ou musical, en présence d'une musicienne réalisant la même tâche. La musicienne était présente physiquement ou virtuellement sur un grand écran. Les résultats ont montré que les patients produisaient plus de mouvements rythmiques en réponse à la musique qu'au métronome. Cependant, la synchronisation sensorimotrice était meilleure avec le métronome qu'avec la musique et en présence réelle plutôt que virtuelle de la musicienne. Ces résultats confirment l'importance du contexte musical et des interactions sociales sur ces différentes performances. En évaluant en parallèle la synchronisation sensorimotrice, les comportements moteurs spontanés et socio-émotionnels à partir de mesures quantitatives et contrôlées, cette étude permet de valider une approche multimodale d'évaluation de l'engagement des patients dans une tâche musicale. Ces résultats ouvrent des perspectives d'applications prometteuses tout en mettant 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 : Interaction sociale, Entraînement rythmique, Cognition musicale, Métronome, Tempo

Abstract

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. Our study evaluates the factors that may

influence patients' socio-emotional and motor engagement during musical activities, and measures their sensorimotor synchronization abilities. Participants were 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 (800ms) and a fast tempo (667ms). Results showed that the 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. These results confirm the importance of the musical context and social interactions on these different performances. By evaluating in parallel the sensorimotor synchronization of the hand, spontaneous and socio-emotional motor behaviors with quantitative and controlled measurements, this study validated 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 behaviour and well-being of patients and their caregivers.

Keywords: Social Interaction, Rhythm entrainment, Alzheimer's disease, Music, Metronome, Tempo

Introduction

La maladie d'Alzheimer (MA) est une maladie neurodégénérative qui affecte la cognition, notamment la mémoire, le langage [1,2], et les relations sociales et émotionnelles [3–5]. En raison de l'efficacité limitée des traitements pharmacologiques dans ce domaine, les établissements de santé encouragent le développement d'approches non médicamenteuses [6]. A ce titre, les interventions basées sur la musique sont de plus en plus souvent proposées [7,8], en raison de leurs effets positifs sur l'état émotionnel, social et voir même cognitif des patients, et sur le bien-être des aidants [9–11]. 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 sur le comportement des patients ont montré que les bénéfices de ces interventions étaient 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 [12,13]. Il se pourrait alors que la stimulation motrice et les interactions sociales jouent un rôle clé dans les bénéfices émotionnels, sociaux et cognitifs de ces interventions, en particulier en promouvant la coordination interpersonnelle [14–16]. 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 qui présentent une MA semblent conserver une sensibilité intrigante à la musique, même à des stades avancés de la maladie [17–19]. Elles bougent ou frappent spontanément leurs mains au rythme de la musique. Cet engagement moteur induit par l'écoute musicale augmente lorsqu'un musicien joue devant eux, suggérant l'influence de la présence d'autrui sur la réponse comportementale. Cet effet, largement décrit en psychologie sociale, démontre que la présence d'autrui pendant une tâche est un facteur fort, susceptible d'influencer les performances [20] et les réactions émotionnelles [21,22]. Chez les patients présentant une MA, plusieurs études ont rapporté que la production spontanée de

mouvements rythmiques et le bien-être des patients décodés à partir des enregistrements vidéos (Holmes et al., 2006; Sherratt et al., 2004) ou encore la quantité globale de mouvements produits spontanément mesurés avec une plaque de force [25] étaient plus élevés en présence réelle d'un musicien qui chantait devant eux, que lorsqu'ils écoutaient l'enregistrement audio de ce même musicien. Ces résultats suggèrent qu'observer un musicien chanter et bouger avec le rythme musical pourrait motiver les patients à bouger également, grâce aux phénomènes d'entraînement social.

La présence d'un musicien pourrait également permettre d'engager les patients dans une relation sociale et émotionnelle. Tout en étant plaisantes, les activités de chant ou de danse réalisées en groupe sur un rythme musical permettent de créer du lien social [26,27]. Cette forme de partage social des émotions se traduit par la production d'expressions faciales émotionnelles, qui reflètent l'état émotionnel d'un individu [28]. Ces signaux de communications non verbales sont de bons indicateurs de l'engagement socio-émotionnel dans une tâche [21,22] et de la qualité de la relation sociale. En décodant ces expressions faciales positives et négatives, il est possible d'évaluer l'impact des activités musicales sur l'état émotionnel et comportemental des patients [10].

La capacité à bouger avec un rythme musical peut également être mesurée de manière précise à partir de la synchronisation sensorimotrice de la main en réponse à une séquence auditive (*sensorimotor synchronisation*, SMS). Pour examiner la SMS dans une tâche de tapping, deux types de séquences sonores sont généralement utilisés : des séquences métronomiques (ou séquences de sons réguliers) 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'elle nécessite d'extraire les battements (beats) forts de la musique. La synchronisation à une séquence métronomique est donc plus facile que la synchronisation à une séquence musicale [29–31]. Deux mesures complémentaires sont utilisées pour évaluer la SMS : la constance (qui correspond à la régularité de la

frappe) et l'asynchronie (qui correspond à la précision ou à l'anticipation de la frappe). Dans le domaine des pathologies neurodégénératives, les capacités de SMS au rythme musical ont été très étudiées chez les patients qui présentent une la maladie de Parkinson, la SMS de ces patients étant moins constante et moins anticipée que celle de témoins [32–36]. Cependant, aucune étude à notre connaissance n'a examiné l'influence du contexte musical et de l'interaction sociale sur la SMS au rythme de la musique dans la MA.

La synchronisation spontanée des mouvements peut également survenir lorsque deux personnes bougent ensemble en rythme [37,38]. Plusieurs études ont de plus montré que ce couplage moteur entre deux individus peut améliorer la SMS à des stimuli extérieurs [39–41] suggérant à nouveau l'influence du contexte social dans la réponse motrice. Ainsi, la présence d'un musicien réalisant la tâche de SMS avec les patients pourrait les aider à synchroniser leurs mouvements avec un rythme musical au cours des interventions musicales.

L'objectif de la présente 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 capacité de SMS durant l'écoute de séquences rythmiques. Pour ce faire, des patients présentant une MA ont réalisé une tâche de SMS 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 physiquement présente en face du patient (condition live), ou virtuellement présente à travers une vidéo pré-enregistrée 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 (667 ms) proche du tempo moteur spontané des personnes âgées de 75 ans et plus [42], et un tempo plus lent (800 ms) proche du tempo moteur spontané des personnes présentant une MA [43]. Plusieurs mesures ont été recueillies avec chaque patient. L'engagement moteur des patients a été évalué grâce à la

quantité de mouvements corporels [25], et de mouvements rythmiques [23,24] produits spontanément. L'engagement socio-émotionnel était examiné par la production d'expressions faciales émotionnelles positives et négatives [44]. Enfin, la SMS était mesurée à partir de la constance et de la précision de la frappe de la main. Selon nos hypothèses, l'interaction sociale dans la condition live devrait améliorer les performances c'est à dire augmenter la constance et la précision de la frappe dans la tâche SMS, tout en améliorant l'engagement moteur et socio-émotionnel des patients, par comparaison à la condition vidéo. Etant donné que la musique est considérée comme un facteur de stimulation motrice et de cohésion sociale, la condition musicale devrait augmenter la production des comportements non verbaux et rythmiques par rapport à la condition métronomique et cet effet de la séquence auditive devrait interagir avec celui du contexte social. Enfin, bien que l'impact du tempo sur ces différentes mesures n'ait pas été systématiquement étudié dans la littérature, il se pourrait que les performances des patients soient influencées par le tempo des séquences auditives.

Matériels et Méthodes

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 (Woonen 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, DSM 5e édition [45], (2) langue maternelle flamande, (3) absence 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 ($M = 89 \pm 4,5$ ans ; 4 hommes). Sur les 26 participants, 21 n'avaient jamais joué d'instrument de musique. L'efficacité cognitive globale a été évaluée à l'aide du MMSE [46] 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

Chaque participant était testé individuellement. Le dispositif expérimental était constitué de deux plaques de forces. L'une des plaques de force était placée sous la chaise du participant, afin de mesurer ses mouvements corporels. Une tablette équipée d'un capteur de force était fixée sur l'accoudoir droit de la chaise. Le participant réalisait la tâche de SMS en tapant sur la tablette avec sa main droite (voir **Figure 1.A**). La seconde plaque de force mesurait les mouvements corporels de la musicienne, debout face au participant.

Deux contextes sociaux différents étaient testés pendant l'expérience: la condition live et la condition vidéo. Dans la condition live, la musicienne était présente physiquement, debout à 250cm en face du participant. Dans la condition vidéo, un enregistrement grandeur nature de la musicienne était joué sur un écran (125 x 165cm) situé à 270 cm du participant. Pendant les conditions live, la musicienne était debout sur une plaque de force enregistrant ses mouvements. Elle tapait sur une tablette fixée en face d'elle au niveau de sa main droite (voir **Figure 1.B**). Le même dispositif a été utilisé pour les enregistrements des conditions vidéo (voir **Figure 1.C**). Deux webcams permettaient d'enregistrer le comportement du patient et de la musicienne pendant l'expérience. Le dispositif expérimental était entouré d'un rideau permettant d'isoler les participants avec la musicienne pendant la tâche.

Le matériel auditif était constitué de deux types de séquences auditives de 60 secondes chacune: les séquences métronomiques et les séquences musicales. Deux tempo ont été testés: un tempo dit ‘rapide’ (*Inter-Onset Interval*, IOI de 667 ms) ou ‘lent’ (IOI de 800 ms). Les séquences métronomiques étaient composées de battements réguliers, au tempo rapide ou lent. Les séquences musicales étaient des extraits de quatre chansons néerlandaises/belges très connues des personnes âgées. Deux chansons avaient un tempo rapide (IOI de 667 ms), les deux autres un tempo lent (IOI de 800 ms). La métrique (binaire/ternaire) a été manipulée et contrôlée pour apporter de la diversité dans les séquences musicales, mais n’est pas un facteur d’analyse.

Chaque séquence auditive était précédée de quatre beats initiaux au tempo testé. Les séquences auditives utilisées étaient : « *Breng eens een zonnetje* » (tempo rapide, métrique binaire), « *Que sera sera* » (tempo rapide, métrique ternaire), « *Ach Margrietje* » (tempo lent, métrique binaire) et « *De Lichtjes van de Schelde* » (tempo lent, métrique ternaire). Les stimuli auditifs étaient joués par un hautparleur à un niveau auditif confortable.

Plan expérimental et procédure

Au cours du test, le participant doit taper avec sa main droite sur la tablette à chaque beat des séquences sonores. Les séquences sonores peuvent être métronomique ou musicale, à un tempo lent ou rapide. La musicienne tape également sur sa tablette à chaque beat des séquences sonores, que se soit en condition live ou en condition vidéo. De plus, la musicienne marque oralement les beats des séquences métronomiques (en disant « Ta »), et chante les paroles des chansons des séquences musicales. Le participant et la musicienne réalisent ensemble la tâche de SMS.

Le plan expérimental de la tâche de synchronisation sensorimotrice incluait les facteurs intra-sujets CONTEXTE SOCIAL (2 niveaux: Vidéo/Live), AUDIO (2 niveaux: Métronome/Musique) et TEMPO

(2 niveaux: Lent/Rapide). Pour les séquences musicales, deux chansons différentes étaient utilisées pour chaque condition. Les scores de ces deux chansons étaient moyennés. Toutes les séquences sonores, qu'elles soient métronomiques (n = 2) ou musicales (n = 4), étaient présentées une fois en présence vidéo, et une fois en présence live. L'ordre de présentations des stimuli expérimentaux était randomisé.

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 (*Quantity of Motion*, QOM) [25,47]. Les données brutes des capteurs des plaques de force 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.

Le décodage *a posteriori* des comportements non verbaux des participants a été réalisé en aveugle par cinq observateurs sur base des enregistrements vidéos des différentes conditions. Trois types de comportements ont été décodés. (1) Les comportements rythmiques qui incluent les mouvements rythmiques de la tête, des lèvres, des membres inférieurs (MI), et du membre supérieur gauche (MSG). (2) Les comportements non rythmiques comprenant 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). (3) Les comportements sociaux et émotionnels, qui incluent les expressions faciales émotionnelles positives (EFE+) et négatives (EFE-). 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*, [48] d'après la méthode proposée par Argyle [49] (voir **les informations supplémentaires 1.1**).

Analyses de la tâche de synchronisation sensorimotrice (SMS)

Les performances de la tâche de synchronisation sont analysées pour le participant, et pour la musicienne. Les performances de la musicienne en condition live sont analysées pour vérifier qu'elles

sont comparables entre chaque condition. Etant donné les bonnes performances de la musicienne (elle n'a pas produit de frappe supplémentaire ou omis de frappe), la précision et la variabilité de la synchronisation ont été analysés en calculant respectivement la moyenne et l'erreur standard (SE) des asynchronies signées en millisecondes. Pour chaque condition, 64 battements par condition ont été retenus pour les analyses.

La SMS des participants a été analysée à l'aide des statistiques circulaires (Fisher, 1995) [51] avec la toolbox Matlab CircStat [52]. L'analyse circulaire est un outil robuste permettant de quantifier la synchronisation sensorimotrice lorsqu'il n'y a pas de correspondance parfaite entre le nombre de frappes et le nombre de beats (Kirschner & Tomasello, 2009 ; Sowiński & Dalla Bella, 2013). Cette technique est donc appropriée pour les participants Alzheimer qui ont tendance à rater une frappe ou à taper plus d'une fois en réponse à un beat (voir **les informations supplémentaires 1.2**). Elle permet d'extraire deux mesures complémentaires évaluant la SMS : la constance (qui correspond à la régularité) et l'asynchronie (qui correspond à la précision ou à l'anticipation).

Résultats

Production de comportements moteurs spontanés

Les comportements moteurs spontanés analysés sont : **(1) la quantité globale de mouvements, (2) les mouvements des lèvres (chant), (3) de la tête, (4) du bras gauche (ceux du bras droit étant examinés séparément avec les mesures de synchronisation sensorimotrice de la main), (5) des membres inférieurs, et (6) les mouvements non rythmiques**. Les valeurs obtenues pour chaque comportement, dans chaque condition expérimentale, sont données dans le **Tableau 1**. Pour chaque comportement, une ANOVA à mesures répétées, incluant les facteurs intra-sujets CONTEXTE SOCIAL (2 niveaux: Vidéo/Live), AUDIO (2 niveaux: Métronome/Musique) et le TEMPO (2 niveaux:

Rapide/Lent) a été réalisée.

En ce qui concerne **la quantité globale de mouvement, les mouvements rythmiques de la tête, les mouvements rythmiques du bras gauche et les mouvements non rythmiques**, aucun effet ou interaction des facteurs AUDIO, SOCIAL et TEMPO n'a été obtenu.

Cependant, les analyses ont montré un effet principal du facteur AUDIO sur **les mouvements des lèvres (chant)** ($F_{(1,25)} = 34,73$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,58$) et **les mouvements rythmiques des membres inférieurs** ($F_{(1,25)} = 11,35$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,31$). Pour ces deux comportements, le pourcentage de durée de mouvements était plus important dans la condition musicale que métronomique (**Lèvres** : métronome $M = 0,19 \pm 0,04$ % ; musique $M = 0,44 \pm 0,06$ %; Test post-hoc de Fisher : $p < 0,001$; **Membres inférieurs** : métronome $M = 0,14 \pm 0,05$ %; musique $M = 0,23 \pm 0,06$ %; Test post-hoc de Fisher : $p < 0,01$). En revanche, aucun autre effet principal ou interaction n'a été observée.

Comportements socio-émotionnels

Une ANOVA à mesures répétées a été réalisée sur la production spontanée d'expressions faciales émotionnelles, incluant les facteurs intra-sujets VALENCE (2 niveaux : Positif/Négatif), CONTEXTE SOCIAL (2 niveaux: Vidéo/Live), AUDIO (2 niveaux: Métronome/Musique) et le TEMPO (2 niveaux: Rapide/Lent). L'analyse n'a montré aucun effet ou interaction significatif. Les valeurs obtenues dans chaque condition expérimentale sont données dans les informations supplémentaires (**Tableau S1**).

Synchronisation sensorimotrice (SMS)

Deux mesures de synchronisation ont été analysées afin de rendre compte de la variabilité des frappes avec la constance et de la précision de la synchronisation avec l'asynchronie signée. Les valeurs obtenues pour chaque condition expérimentale sont données dans les informations supplémentaires (**Tableau S2**).

Constance de la synchronisation

Une ANOVA à mesures répétées a été réalisée sur la constance de la SMS incluant les facteurs intra-sujets CONTEXTE SOCIAL (2 niveaux: Vidéo/Live), AUDIO (2 niveaux: Métronome/Musique) et TEMPO (2 niveaux: Rapide/Lent). L'analyse a mis en évidence un effet du facteur CONTEXTE SOCIAL ($F_{(1,25)} = 20,98$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,46$), ainsi qu'une interaction significative entre les facteurs CONTEXTE SOCIAL et TEMPO ($F_{(1,25)} = 10,45$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,21$), suggérant que le tempo influence la SMS différemment en fonction du type de présence sociale (voir **Figure 2.A**). La synchronisation était plus constante dans la condition présence pré-enregistrée (Vidéo) que dans la condition présence physique (Live) de la musicienne et que cette différence était plus importante avec un tempo lent de 800 ms (test post-hoc de Fisher : $p < 0,001$) qu'avec un tempo rapide de 667 ms (test post-hoc de Fisher : $p < 0,05$).

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

Précision de la synchronisation (asynchronies signées)

Une ANOVA à trois mesures répétées a été réalisée sur l'asynchronie de la SMS incluant les facteurs intra-sujets CONTEXTE SOCIAL (2 niveaux: Vidéo/Live), AUDIO (2 niveaux: Métronome/Musique) et le TEMPO (2 niveaux : Rapide/Lent). L'analyse a montré des effets des facteurs CONTEXTE SOCIAL ($F_{(1,25)} = 21,24$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,46$) et AUDIO ($F_{(1,25)} = 4,26$, $p = 0,050$, $\eta_p^2 = 0,15$) ainsi qu'une interaction significative entre les facteurs CONTEXTE SOCIAL et AUDIO ($F_{(1,25)} = 15,90$, $p < 0,001$,

$\eta_p^2 = 0,39$). Les comparaisons post-hoc ont montré que dans la condition métronomique, l'asynchronie n'était pas dépendante du type de présence de la musicienne. A l'inverse, dans la condition musicale, l'asynchronie était significativement différente en fonction de la présence de la musicienne (Test post-hoc de Fisher : $p < 0,001$): la frappe étant anticipée dans la condition pré-enregistrée et retardée dans la condition présence physique de la musicienne (voir **Figure 3.A**).

L'analyse a également montré un effet significatif du facteur TEMPO ($F_{(1,25)} = 18,75$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,43$) 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 : $p < 0,001$) (voir **Figure 3.B**)

Performances de la musicienne

Les performances de la musicienne en termes de quantité de mouvements, de variabilité (coefficient de variation - CV) et de précision de sa frappe (asynchronie) ont été analysées dans les conditions Live.

Les résultats de l'ANOVA à deux mesures répétées (facteurs AUDIO : Métronome/Musique et TEMPO (Rapide/Lent) ont mis en évidence un effet du facteur AUDIO ($F_{(1,25)} = 171,74$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,87$) sur la QOM, cette dernière était plus élevée en condition musique ($M = 4,71 \pm 0,15$ mV) qu'en condition métronome ($M = 2,35 \pm 0,22$ mV; Test post-hoc de Fisher : $p < 0,001$).

Les résultats de l'ANOVA réalisée sur l'asynchronie de la SMS de la musicienne ont également mis en évidence un effet du facteur AUDIO ($F_{(1,25)} = 29,16$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,54$). Les frappes étaient plus anticipées avec le métronome ($M = 1,11 \pm 0,70$ ms) qu'avec la musique ($M = 5,74 \pm 0,84$ ms; Test post-hoc de Fisher : $p < 0,001$).

Les résultats de l'ANOVA réalisée sur le coefficient de variation de la SMS de la musicienne ont aussi mis en évidence un effet du facteur AUDIO ($F_{(1,25)} = 10,90$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,30$). Les coefficients de variations étaient plus faibles avec le métronome ($M = 1,25 \pm 0,18$ ms) qu'avec la musique ($M = 2,07 \pm 0,26$ ms; Test post-hoc de Fisher : $p < 0,01$).

Discussion

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact de l'interaction sociale et de la musique sur l'engagement moteur et émotionnel de personnes qui présentent une MA, ainsi que sur leurs performances de SMS en réponse à des séquences rythmiques. Pour ce faire, le contexte social a été manipulé en comparant une condition de présence physique (live) à une condition de présence pré-enregistrée (vidéo) d'une chanteuse réalisant la tâche de synchronisation sensorimotrice face au 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 (667ms) et un lent (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 SMS 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 SMS a été mis en évidence. Contrairement à nos prédictions, la SMS des patients étaient 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 influençait différemment la constance et la précision de la SMS

La production spontanée de mouvements rythmiques des membres inférieurs était plus importante en réponse à la musique qu'au métronome. Ce résultat appuie l'idée que la musique présente des caractéristiques stimulantes et motivantes en termes d'activation motrice [53,54]. 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. Contrairement à nos attentes, le contexte social n'a pas influencé la production spontanée de

ces mouvements rythmiques. Ce résultat suggère que la présence sociale d'autrui en condition vidéo (stimulation audio-visuelle) est suffisante pour 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 [55]. 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.

La SMS des participants était moins constante et moins anticipée en réponse à la musique qu'au métronome. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus auprès de jeunes adultes [29–31] ou de personnes atteintes de la maladie de Parkinson [33], démontrant que la complexité du rythme de la séquence musicale diminuait la constance et l'anticipation de la SMS par comparaison au métronome. En effet, la SMS 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 SMS. 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 dans ce cas était trop petite (environ 5ms de différence d'asynchronie) pour expliquer l'effet observé sur la SMS des patients.

Les résultats ont aussi montré que la SMS des participants était sensible au type d'interaction sociale. 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 SMS [39–41]. 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 une performance live. La SMS était donc meilleure en présence de la vidéo de la musicienne. Ce résultat pourrait s'expliquer par l'existence d'un couplage entre les mouvements du patient et ceux de la musicienne qui entrerait en compétition avec la tâche de SMS [56]. Cette hypothèse peut être écartée au vue de la très bonne précision rythmique de la chanteuse, en terme de constance (métronome $M = 1.25 \pm .18$ ms ; musique $M = 2.07 \pm .26$ ms) et de précision (métronome $M = 1.11 \pm .70$ ms ; musique $M = 5.74 \pm .84$ ms). Une hypothèse alternative est que la détérioration des performances en condition live par rapport à la condition vidéo viendrait de la présence d'un observateur pendant la tâche. Comme cela a été démontré en psychologie sociale, la seule présence d'un observateur peut améliorer ou détériorer les performances à une tâche [20]. La présence réelle d'autrui peut augmenter la charge cognitive du patient, ou induire de la pression sociale ce qui détériorerait ses performances. Pour mieux comprendre l'influence de ces facteurs, il serait intéressant d'évaluer l'attention mais également la cognition sociale (anxiété sociale, empathie) des patients présentant une MA.

Le tempo des séquences rythmiques modifie la SMS des participants de manière complexe. En effet, le tempo influence la constance de la SMS différemment en fonction du contexte social et du contexte musical. Tandis que l'effet du contexte social est plus prononcé avec un tempo lent, proche du tempo moteur spontané des patients, qu'avec un tempo rapide [43], l'effet du contexte auditif apparaît avec un tempo rapide. Le tempo module également la précision de la SMS, 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 SMS.

Les résultats de notre étude montrent que les personnes qui présentent une MA sont capables de synchroniser leurs mouvements avec un rythme sonore. Toutefois, nous ne savons pas si leurs capacités de SMS sont impactées par la MA étant donné que nous n'avons pas évalué de témoins appariés. Deux études ont cependant montré une dégradation des performances chez des patients présentant un MA dans des tâches de continuation d'un rythme métronomique [57,58]. Cette baisse de performances pourrait résulter d'un déclin moteur qui se manifesterait avec l'avancée de la maladie [59–61], soulignant la nécessité de vérifier l'intégrité des capacités de SMS en présence d'une MA.

Comme en témoigne la littérature sur le domaine, la rigueur expérimentale est souvent difficile à concilier avec les contraintes de la clinique, notamment dans le domaine du vieillissement pathologique. A ce titre, les résultats de notre étude montrent que la méthodologie développée ici permet de recueillir des mesures quantitatives et contrôlées concernant l'engagement moteur, socio-émotionnel et la SMS chez des personnes âgées souffrant d'une pathologie neurodégénérative telle que la MA. Le paradigme expérimental développé ici, qui repose sur une tâche de tapping réalisée en présence d'autrui dans le cadre d'une action conjointe, semble adapté pour évaluer la SMS mais également 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). 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. Ainsi, les résultats de notre étude montrent qu'il est possible d'inciter un patient à bouger et à se synchroniser avec autrui, et cela même en présence d'un enregistrement vidéo. Ces résultats ouvrent des perspectives thérapeutiques prometteuses pour les patients qui vivent à domicile dans des régions éloignées. En leur offrant la possibilité de bénéficier de prises en charge régulières grâce à l'utilisation d'enregistrement

vidéo et de la technologie mobile, l'éloignement géographique des patients ne serait plus un obstacle majeur à ce type de prise en charge. L'idée n'est pas de remplacer la présence réelle par une présence virtuelle mais 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'impact de l'isolement social au quotidien. Enfin, cette étude a également donné l'occasion de valider un dispositif expérimental composé d'une chaise équipée de plusieurs capteurs et de vidéos pour mesurer et enregistrer la SMS de la main sur une tablette ainsi que les mouvements et les comportements non verbaux auprès d'une population clinique. En somme, cette approche multimodale met à la disposition des cliniciens et des chercheurs une méthodologie qui offre le moyen 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 SMS, les comportements moteurs spontanés et socio-émotionnels, devrait permettre de mieux comprendre les raisons qui sont à l'origine des bénéfices thérapeutiques des activités musicales sur le comportement et le bien-être des patients et de leurs aidants.

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., de la Fondation France Alzheimer à S.S. 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 qui a 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 l'absence de conflit d'intérêt

Références

1. Feyereisen, P., and Hupet, M. (2007). Pragmatic skills in the early stages of Alzheimer's disease : an analysis by means of a referential communication task. *Int. J. Lang.* 42, 1–17.
2. Potkins, D., Myint, P., Bannister, C., Tadros, G., Chithramohan, R., Swann, A., O'Brien, J., Fossey, J., George, E., Ballard, C., *et al.* (2003). Language impairment in dementia: Impact on symptoms and care needs in residential homes. *Int. J. Geriatr. Psychiatry* 18, 1002–1006.
3. Bediou, B., Ryff, I., Mercier, B., Milliery, M., Hanaff, M.A., D'Amato, T., Bonnefoy, M., Vighetto, A., and Krolak-Salmon, P. (2009). Impaired social cognition in mild alzheimer disease. *J. Geriatr. Psychiatry Neurol.* 22, 130–140.
4. Christensen, H., Griffiths, K., Mackinnon, A., and Jacomb, P. (1997). A quantitative review of cognitive deficits in depression and Alzheimer-type dementia. *J. Int. Neuropsychol. Soc.* 3, 631–51. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9448376>.
5. Shimokawa, A., Yatomi, N., Anamizu, S., Torii, S., Isono, H., Sugai, Y., and Kohno, M. (2001). Influence of deteriorating ability of emotional comprehension on interpersonal behavior in Alzheimer-type dementia. *Brain Cogn.* 47, 423–433.
6. National Institute for Health and Care Excellence (2018). Dementia: Assessment, management and support for people living with dementia and their carers.
7. Sihvonen, A.J., Särkämö, T., Leo, V., Tervaniemi, M., Altenmüller, E., and Soinila, S. (2017). Music-based interventions in neurological rehabilitation. *Lancet Neurol.* 16, 648–660.
8. van der Steen, J.T., Van Soest-Poortvliet, M.C., Van Der Wouden, J.C., Bruinsma, M.S., Scholten, R.J., and Vink, A.C. (2018). Music-based therapeutic interventions for people with dementia (Review). *Cochrane Database Syst. Rev.* 7.
9. Choi, A.N., Lee, M.S., Cheong, K.J., and Lee, J.S. (2009). Effects of group music intervention on behavioral and psychological symptoms in patients with dementia: A pilot-controlled trial. *Int. J. Neurosci.* 119, 471–481.
10. Narme, P., Clément, S., Ehrlé, N., Schiaratura, L., Vachez, S., Courtaigne, B., Munsch, F., and Samson, S. (2014). Efficacy of Musical Intervention in Dementia: Evidence from a Randomized Controlled Trial. *J. Alzheimer's Dis.* 38, 31–42.
11. Ueda, T., Suzukamo, Y., Sato, M., and Izumi, S.I. (2013). Effects of music therapy on behavioral and psychological symptoms of dementia: A systematic review and meta-analysis. *Ageing Res. Rev.* 12, 628–641. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.arr.2013.02.003>.
12. Sakamoto, M., Ando, H., and Tsutou, A. (2013). Comparing the effects of different individualized music interventions for elderly individuals with severe dementia. *Int. Psychogeriatrics* 25, 775–784.
13. Särkämö, T., Tervaniemi, M., Laitinen, S., Numminen, A., Kurki, M., Johnson, J.K., Rantanen, P., Julene, K., and Rantanen, P. (2014). Cognitive, emotional, and social benefits of regular musical activities in early dementia: Randomized controlled study. *Gerontologist* 54, 634–650.
14. Ghilain, M., Schiaratura, L., Singh, A., Lesaffre, M., and Samson, S. (2019). Is music special for people with dementia. In *Music and dementia: from cognition to therapy*, A. Baird, S. Garrido, and J. Tamplin, eds.
15. Cason, N., Schiaratura, L., and Samson, S. (2017). Synchronization to Music as a Tool for Enhancing Non-Verbal Communication in People with Neurological Diseases. In *In The Routledge Companion to Embodied Music Interaction* (Routledge), pp. 304–312.
16. Hobeika, L., and Samson, S. (2019). Why music-based interventions benefit to persons with neurodegenerative disease? In *Music and the Aging Brain*, M. Cuddy, Belleville, ed. (Academic

- Press).
17. Baird, A., and Samson, S. (2015). Music and dementia. In *Progress in Brain Research*, pp. 207–235.
 18. Cuddy, L.L., and Duffin, J. (2005). Music, memory, and Alzheimer’s disease: Is music recognition spared in dementia, and how can it be assessed? *Med. Hypotheses* 64, 229–235.
 19. Johnson, J.K., Chang, C.-C., Brambati, S.M., Migliaccio, R., Gorno-Tempini, M.L., Miller, B.L., and Janata, P. (2011). Music recognition in frontotemporal lobar degeneration and Alzheimer disease. *Cogn. Behav. Neurol. Off. J. Soc. Behav. Cogn. Neurol.* 24, 74–84.
 20. Zajonc, R.B. (1965). Social Facilitation. *Science* (80-). 149, 269–274.
 21. Chovil, N. (1991). Social determinants of facial displays. *J. Nonverbal Behav.* 15, 141.
 22. Fridlund, A.J. (1991). Sociality of Solitary Smiling : Potentiation by an Implicit Audience. *J. Pers. Soc. Psychol.* 60, 229–240.
 23. Holmes, C., Knights, A., Dean, C., Hodkinson, S., and Hopkins, V. (2006). Keep music live: music and the alleviation of apathy in dementia subjects. *Int. Psychogeriatrics* 18, 623–630.
 24. Sherratt, K., Thornton, A., and Hatton, C. (2004). Emotional and behavioural responses to music in people with dementia : an observational study. *Aging Ment. Heal.* 8, 233–241.
 25. Lesaffre, M., Moens, B., and Desmet, F. (2017). Monitoring music and movement interaction in people with dementia. In *The Routledge Companion to Embodied Music Interaction* (Routledge), pp. 294–303.
 26. Hove, M.J., and Risen, J.L. (2009). It’s All in the Timing: Interpersonal Synchrony Increases Affiliation. *Soc. Cogn.* 27, 949–960.
 27. Tarr, B., Launay, J., and Dunbar, R.I.M. (2014). Music and social bonding : “ self-other ” merging and neurohormonal mechanisms. *Front. Psychol.* 5.
 28. Shariff, A.F., and Tracy, J.L. (2011). What Are Emotion Expressions For ? *Curr. Dir. Psychol. Sci.* 20, 395–399.
 29. Aschersleben, G. (2002). Temporal Control of Movements in Sensorimotor Synchronization. *Brain Cogn.* 48, 66–79.
 30. Sowiński, J., and Dalla Bella, S. (2013). Poor synchronization to the beat may result from deficient auditory-motor mapping. *Neuropsychologia* 51, 1952–1963.
 31. Dalla Bella, S., Farrugia, N., Benoit, C., Begel, V., Verga, L., Harding, E., and Kotz, S.A. (2016). BAASTA : Battery for the Assessment of Auditory Sensorimotor and Timing Abilities. *Behav. Res. Methods* 49, 1128–1145. Available at: <http://dx.doi.org/10.3758/s13428-016-0773-6>.
 32. Jones, C.R.G., Claassen, D.O., Yu, M., Spies, J.R., Malone, T., Dirnberger, G., Jahanshahi, M., and Kubovy, M. (2011). Modeling accuracy and variability of motor timing in treated and untreated Parkinson ’ s disease and healthy controls. *Front. Integr. Neurosci.* 5.
 33. Benoit, C., Bella, S.D., Farrugia, N., Obrig, H., Mainka, S., and Kotz, S.A. (2014). Musically cued gait-training improves both perceptual and motor timing in Parkinson ’ s disease. *Front. Hum. Neurosci.* 8, 1–11.
 34. 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.
 35. Cock, V.C. De, Dotov, D.G., Ihalainen, P., Bégel, V., Galtier, F., Lebrun, C., Picot, M.C., Driss, V., Landragin, N., Geny, C., *et al.* (2018). Rhythmic abilities and musical training in Parkinson ’ s disease : do they help ? *NPJ Park. Dis.* 4, 1–8. Available at: <http://dx.doi.org/10.1038/s41531-018-0043-7>.
 36. Merchant, H., Luciana, M., Hooper, C., Majestic, S., and Tuite, P. (2008). Interval timing and Parkinson ’ s disease : heterogeneity in temporal performance. *Exp. Brain* 184, 233–248.

37. Oullier, O., Guzman, G.C. De, Jantzen, K.J., Lagarde, J., and Kelso, J.A.S. (2008). Social coordination dynamics : Measuring human bonding. *Soc. Neurosci.* 3, 178–192.
38. van Ulzen, N.R., Lamoth, C.J.C., Daffertshofer, A., Semin, G.R., and Beek, P.J. (2008). Characteristics of instructed and uninstructed interpersonal coordination while walking side-by-side. *Neurosci. Lett.* 432, 88–93.
39. Demos, A.P., Carter, D.J., Wanderley, M.M., and Palmer, C. (2017). The Unresponsive Partner : Roles of Social Status , Auditory Feedback , and Animacy in Coordination of Joint Music Performance. *Front. Psychol.* 8, 149.
40. Kirschner, S., and Tomasello, M. (2009). Joint drumming: Social context facilitates synchronization in preschool children. *J. Exp. Child Psychol.* 102, 299–314. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jecp.2008.07.005>.
41. Konvalinka, I., Vuust, P., Roepstorff, A., and Frith, C.D. (2010). Follow you, follow me: continuous mutual prediction and adaptation in joint tapping. *Q. J. Exp. Psychol. (Hove)*. 63, 2220–30. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20694920> [Accessed March 25, 2014].
42. McAuley, J.D., Jones, M.R., Holub, S., Johnston, H.M., and Miller, N.S. (2006). The Time of Our Lives : Life Span Development of Timing and Event Tracking. *J. Exp. Psychol. Gen.* 135, 348–367.
43. Rabinowitz, I., and Lavner, Y. (2014). Association between finger tapping, attention, memory, and cognitive diagnosis in elderly patients. *Percept. Mot. Skills* 119, 259–278.
44. Ekman, P., Friesen, W. V, and Ellsworth, P. (2013). *Emotion in the human face: guidelines for research and an integration of findings* 11th ed. (Elsevier).
45. American Psychiatric Association (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)* (American Psychiatric Pub.).
46. Folstein, M.F., Folstein, S.E., and McHugh, P.R. (1975). A practical state method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J. Psychiatr. Res.* 12, 189–198.
47. Desmet, F., Lesaffre, M., Six, J., Ehrlé, N., and Samson, S. (2017). Multimodal analysis of synchronization data from patients with dementia. *ESCOM*.
48. Ekman, P., and Friesen, W. V (1976). *Measuring Facial Movement*. *Environ. Psychol. Nonverbal Behav.* 1, 56–75.
49. Argyle, M. (2013). *Bodily communication* Routledge.
50. Friard, O., and Gamba, M. (2016). BORIS : a free , versatile open-source event-logging software for video/audio coding and live observations. *Methods Ecol. Evol.* 7, 1325–1330.
51. Fisher, N.I. (1995). *Statistical analysis of circular data* (Cambridge University Press).
52. Berens, P. (2009). *CircStat: a MATLAB toolbox for circular statistics*. *J. Stat. Softw.* 31.
53. Styns, F., Van Noorden, L., Moelants, D., and Leman, M. (2007). Walking on music. *Hum. Mov. Sci.* 26, 769–785.
54. Leman, M., Moelants, D., Varewyck, M., Styns, F., Van Noorden, L., and Martens, J. (2013). Activating and Relaxing Music Entraineds the Speed of Beat Synchronized Walking. *PLoS One* 8.
55. Garrido, S., Stevens, C.J., Chang, E., Dunne, L., and Perz, J. (2018). Music and Dementia : Individual Differences in Response to Personalized Playlists. *J. Alzheimer’s Dis.* 64, 933–941.
56. Demos, A.P., Chaffin, R., Begosh, K.T., Daniels, J.R., and Marsh, K.L. (2012). Rocking to the beat: effects of music and partner’s movements on spontaneous interpersonal coordination. *J. Exp. Psychol. Gen.* 141, 49–53. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21668129> [Accessed November 21, 2014].
57. 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. *J. Int. Neuropsychol. Soc.* 18, 1052–1063.
58. Martin, E., Blais, M., Albaret, J., Pariente, J., and Tallet, J. (2017). 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.* 55, 43–53. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2017.07.007>.
 59. de Paula, J.J., Albuquerque, M.R., Lage, G.M., Bicalho, M.A., Romano-Silva, M.A., and 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. *Rev. Bras. Psiquiatr.* 38, 235–238.
 60. Kluger, A., Gianutsos, J.G., Golomb, J., Ferris, S.H., and Reisberg, B. (1997). Motor/psychomotor dysfunction in normal aging, mild cognitive decline, and early alzheimer's disease: diagnostic and differential diagnostic features. *Int. Psychogeriatrics* 9, 307–316.
 61. Yan, J.H., Rountree, S., Massman, P., Doody, R.S., and Li, H. (2008). Alzheimer's disease and mild cognitive impairment deteriorate fine movement control. *J. Psychiatr. Res.* 42, 1203–1212.

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



Figure 2. Constance de la SMS (A) en fonction du contexte social (Vidéo ou Live) et du tempo (Lent ou Rapide), (B) en fonction du contexte social (Vidéo ou Live) et de la séquence auditive (Métronome ou Musique). Les barres d'erreurs correspondent aux erreurs standards. Plus la valeur de la constance est élevée, plus la frappe est régulière (avec 1 correspondant à une régularité parfaite). *($p < .05$) ***($p < .001$)

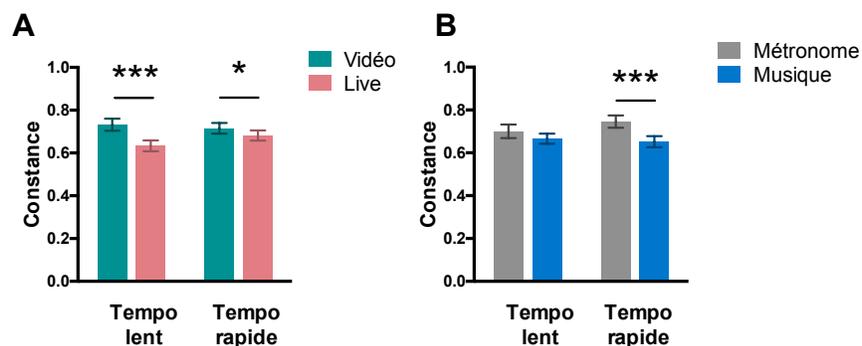


Figure 3. Asynchronie de la SMS (en millisecondes) (**A**) en fonction du contexte social (Vidéo ou Live) de la séquence auditive (Métronome ou Musique), (**B**) en fonction du tempo (Lent ou Rapide). Une valeur négative correspond à une frappe arrivant avant le beat, une valeur positive correspond à une frappe après le beat. Plus la valeur est proche de 0, plus l'asynchronie est faible et la synchronisation précise. ***($p < 0,001$).

