

**L'utilisation de la musique comme support de nouveaux  
apprentissages dans le vieillissement normal  
et la maladie d'Alzheimer**

par

**Aline Moussard**

Thèse de doctorat effectuée en cotutelle  
au Département de Psychologie de la Faculté des Arts et des Sciences  
Université de Montréal, Canada  
Laboratoire International de Recherche sur le Cerveau, la Musique et le Son (BRAMS)

Et

Au Département de Psychologie de l'U.F.R. Sciences Humaines  
Université de Bourgogne, France  
Laboratoire d'Étude de l'Apprentissage et du Développement (LEAD – CNRS UMR5022)

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures de l'Université de Montréal  
en vue de l'obtention du grade de Philosophiæ Doctor (Ph.D.) en Psychologie  
et à

l'École Doctorale E2S de l'Université de Bourgogne  
en vue de l'obtention du grade de Docteur (Dr) en Psychologie

Mai 2012

© Aline Moussard, 2012



## Constitution du Jury

**Pierre Perruchet, Pr.** (Université de Bourgogne, France), Président.

**Sylvie Belleville, Pr.** (Université de Montréal, Canada), Vice-présidente.

**Hervé Platel, Pr.** (Université de Caen, France), Rapporteur.

**Michel Isingrini, Pr.** (Université François Rabelais, Tours, France), Rapporteur.

**Séverine Samson, Pr.** (Université de Lille 3, France), Examineur externe.

**Emmanuel Bigand, Pr.** (Université de Bourgogne, France), Co-directeur de thèse.

**Isabelle Peretz, Pr.** (Université de Montréal, Canada), Co-directrice de thèse.



---

# Remerciements

---

Ce travail est le fruit d'une collaboration entre deux laboratoires, que je voudrais tous deux remercier chaleureusement.

Merci à toute l'équipe du LEAD, que je côtoie de près ou de loin depuis... quelques années ! Un merci tout spécial à Françoise, pour les discussions théoriques, le soutien psychologique et l'amitié tissée depuis notre début commun en Master. Bien sûr, un grand merci à Charles pour m'avoir donné l'impulsion d'une telle entreprise. Et puis, pendant qu'on est à Dijon, je voudrais adresser un clin d'œil spécial à Delphine, mon premier mentor en neuropsychologie, et qui fut la première à me donner ma chance en clinique.

Merci bien sûr à toute l'équipe du BRAMS, pour le magnifique travail collaboratif, le soutien scientifique et amical. Je ne citerai pas tous ceux qui me manquent déjà, la liste est trop longue ! Un immense merci plus particulier à Anna et Patrick, qui m'ont apporté, en plus de leur amitié, une aide très concrète et très précieuse tout au long de ce parcours de thèse à Montréal.

J'aimerais aussi remercier les institutions qui ont contribué à ce travail, en apportant leur soutien financier : le Ministère de l'Éducation Nationale français, la Fondation Médéric-Alzheimer, le Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (programme ACN-Create), et l'Université de Montréal ; mais aussi en s'impliquant dans le recrutement des participants : la Société Alzheimer Montréal, et l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal. J'aimerais saluer tout particulièrement l'aide de Sylvie Belleville et son équipe.

Bien sûr, des remerciements vifs et chargés d'émotion vont aux 15 participants qui se sont impliqués dans ce travail de recherche, et avec qui la relation établie au fil de ces mois d'échange est inoubliable. Je les remercie pour leur temps, leur énergie, et leur gentillesse.

Merci aux membres du jury qui ont accepté de consacrer du temps à lire et commenter de ce travail. Un second clin d'œil pour mon second mentor en neuropsychologie : Merci à Séverine de m'avoir ouvert les portes du Master à Lille et co-dirigée pendant cette magnifique année.

Famille et êtres chers m'ont apporté une aide de manière moins directe, mais Ô combien déterminante ! Immenses remerciements à mes parents, qui m'ont donné toutes les clés pour parvenir à mener mes projets jusqu'au bout. Mais aussi, mon noyau dur : Lisa et Emilien, Gigi, Papy, Mémé, une pensée pour Pépé... Sans oublier Marinette, Philippe, Jimmy, Céline. Vous êtes ma base. Un merci spécial aussi à Patrick pour le soutien des derniers mois ! Et merci à nouveau, Mum, pour le gros et précieux travail de relecture.

Pour terminer, toute ma gratitude va à mes deux directeurs. Merci, Emmanuel, de m'avoir donné la chance d'entrer dans ce monde, transmis ta passion pour la recherche et guidée depuis le début pour me mener jusque là. Merci, Isabelle, pour m'avoir ouvert les portes de ton monde d'excellence, pour ton investissement, et pour m'avoir tant appris. Mille mercis à tous les deux pour votre confiance et votre soutien scientifique et humain sans faille.



---

# Sommaire

---

<b>Remerciements .....</b>	<b>v</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>xiii</b>
<b>PARTIE THÉORIQUE .....</b>	<b>1</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>3</b>
<b>Chapitre 1 : Evaluation et Stimulation Cognitives dans le Vieillessement et la MA.....</b>	<b>5</b>
1. Caractéristiques cliniques du vieillissement et de la MA .....	5
2. Entraînement cognitif dans le vieillissement normal.....	7
3. Stimulation cognitive dans la MA .....	9
4. Résumé et perspectives .....	11
<b>Chapitre 2 : La Musique comme Outil de Stimulation Cognitive.....</b>	<b>13</b>
1. Activité musicale et vieillissement normal .....	13
2. Stimulation par la musique dans la maladie d'Alzheimer .....	15
3. Expliquer les effets positifs des stimulations et entraînements musicaux .....	16
3.1. Emotion et neurophysiologie liées à l'écoute musicale .....	17
3.2. La musique comme vecteur de plasticité cérébrale.....	18
3.3. Effets de transfert à des compétences non musicales.....	20
4. Résumé et perspectives .....	24
<b>Chapitre 3 : Habiletés Musicales dans le Vieillessement et la MA.....</b>	<b>27</b>
1. Perception .....	27
1.1. Perception auditivo-musicale.....	27
1.2. Perception des émotions musicales .....	28
2. Mémoire(s).....	29
2.1. Mémoire à court terme.....	30
2.2. Connaissance de matériel musical familier : mémoires sémantique et autobiographique .....	30
2.3. Encodage épisodique d'un matériel musical familier et non familier .....	35

2.4. Formation de nouvelles connaissances musicales.....	36
2.5. Mémoire procédurale .....	39
3. Résumé et perspectives .....	40
<b>Chapitre 4 : La Musique comme Support de Nouveaux Apprentissages en Mémoire Verbale et Gestuelle.....</b>	<b>43</b>
1. Mémoire verbale .....	43
1.1. La musique comme mnémotechnique chez le jeune adulte .....	43
1.2. La musique comme mnémotechnique dans le vieillissement et la maladie d'Alzheimer .....	50
2. Mémoire gestuelle.....	53
3. Résumé et perspectives .....	54
<b>Objectifs de la thèse et Hypothèses.....</b>	<b>57</b>
1. Étude 1 : La musique comme support de nouveaux apprentissages verbaux .....	57
2. Étude 2 : La musique comme support de nouveaux apprentissages gestuels .....	58
3. Procédure générale.....	59
4. Plan de la partie expérimentale .....	59
<b>PARTIE EXPÉRIMENTALE.....</b>	<b>61</b>
<b>Article 1 : Music as an Aid to Learn New Verbal Information in Alzheimer's Disease .....</b>	<b>63</b>
1. Abstract .....	63
2. Introduction.....	64
3. Method .....	66
3. 1. Participant .....	66
3. 2. Material and Procedure .....	68
4. Results.....	70
4. 1. Learning Phase.....	70
4. 2. Relearning Phase.....	71
5. Discussion.....	73
6. Author Note.....	75
7. Footnotes.....	75
<b>Article 2 : Learning Sung Lyrics Helps Retention in Normal Aging and Alzheimer's Disease .....</b>	<b>77</b>
1. Abstract .....	77
2. Introduction.....	78
3. Method .....	81
3. 1. Participants.....	81

3. 2. Material and Procedure .....	84
3. 3. Design .....	86
3. 4. Scoring and data analysis .....	86
4. Results .....	87
4. 1. Initial learning .....	87
4. 2. Repeated learning .....	90
4. 3. Correlation between experimental performance and base-lines measures .....	94
4. 4. Post-test base-line .....	95
5. Discussion .....	95
6. Acknowledgment .....	99
7. Footnotes .....	99
<b>Article 3 : Utiliser la Musique pour Apprendre une Séquence de Gestes dans le Vieillessement Normal et la Maladie d'Alzheimer .....</b>	<b>101</b>
1. Résumé.....	101
2. Introduction.....	102
3. Méthodologie .....	103
3. 1. Participants.....	103
3. 2. Matériel et procédure .....	105
4. Résultats .....	107
4. 1. Rappel Immédiat .....	107
4. 2. Rappel Différé.....	109
4. 3. Cas particulier : JL.....	110
5. Discussion .....	111
6. Remerciements.....	114
7. Abstract .....	114
<b>DISCUSSION GÉNÉRALE.....</b>	<b>115</b>
1. L'apport de la composante musicale .....	117
2. La musique est-elle spéciale ?.....	118
3. Musique, action et mémoire.....	120
4. La place de la musique au cœur des stratégies d'intervention à visée mnémotechnique dans le vieillissement et la MA .....	121
5. Conclusion .....	124
<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>125</b>



---

# Résumé

---

L'objectif de ce travail de thèse est d'évaluer le potentiel de la musique comme support mnémotechnique pour l'acquisition de nouvelles informations chez des personnes âgées saines et atteintes de la maladie d'Alzheimer (MA). Les bénéfices de la musique sur la cognition ont souvent été mis en évidence, y compris chez des populations âgées ou atteintes de démence. Parallèlement, chez des sujets jeunes, l'idée que la musique peut servir de support pour la mémoire a été largement débattue. Pourtant, très peu d'études ont posé cette question auprès de populations âgées ou dans la démence, malgré le besoin persistant de stratégies d'intervention dans ce domaine. Dans le présent travail, deux études sont menées dans une cohorte de 8 participants atteints d'un stade léger de la maladie d'Alzheimer, et 7 participants âgés sains appariés en âge et niveau de scolarité. La première étude porte sur la mémoire verbale, et compare l'apprentissage et la rétention de paroles (textes inconnus) présentées de manière récitée ou chantée. Lorsque les paroles sont chantées, différents degrés de familiarité de la mélodie sont contrastés. Aussi, l'action motrice étant intimement liée à l'écoute musicale, nous contrastons deux procédures d'apprentissage impliquant (ou non) la production synchronisée des paroles à mémoriser pendant l'encodage : le participant est invité à chanter à l'unisson avec un modèle (ou à écouter simplement sans chanter). Les résultats de cette étude sont présentés et discutés dans les deux premiers articles de la partie expérimentale. Ils suggèrent globalement que la musique n'aide pas l'apprentissage en rappel immédiat ; un effet délétère est même observé lorsque la mélodie utilisée est non familière. Par contre, la musique favorise la rétention à long terme des paroles, principalement pour les participants MA. Elle ne semble cependant pas interagir avec la procédure d'apprentissage impliquant le chant à l'unisson. La seconde étude porte sur l'apprentissage de séquences de gestes. Suivant la même logique que dans la première étude, nous explorons l'influence d'un accompagnement musical (versus apprentissage en silence) et d'une procédure d'apprentissage avec production synchronisée (versus observation) des gestes durant l'encodage. Les résultats (article 3) ne montrent pas non plus d'interaction entre l'accompagnement et la procédure d'apprentissage, mais différents effets de chaque composante sur les deux groupes de participants. Effectuer les gestes en synchronie avec un modèle lors de l'encodage est bénéfique pour les sujets Contrôles, mais plutôt délétère pour les participants MA. Par contre, l'accompagnement musical favorise davantage l'apprentissage chez les sujet MA que chez les Contrôles. En discussion générale, nous discutons les implications de ces résultats pour la neuropsychologie fondamentale et clinique, et proposons notamment différentes recommandations visant à maximiser ces effets et à les rendre pertinents pour l'usage thérapeutique en stimulation cognitive.

Mots-clés : Alzheimer ; Vieillesse normale ; Apprentissage ; Mémoire à long terme ; Musique ; Action ; Mnémotechnique.



---

# Abstract

---

This thesis research aims to test the potential of music as a mnemonic support for new learning in normal elderly and Alzheimer's disease (AD) participants. Several studies have highlighted the beneficial effects of music on cognition in aging and dementia. At the same time, in young adults, the idea that music could serve as a mnemonic support is highly debated. Yet, very few studies addressed this question in aging or dementia. In the present work, we conduct two studies in a cohort of 8 mild Alzheimer's disease and 7 matched control participants. The first study concerns verbal memory, and compares learning and different retention delays of lyrics (unknown texts) that are either spoken or sung. When lyrics are sung, different degrees of melody familiarity are contrasted. Moreover, as motor activity is strongly related to music, we compare two learning procedures that are either synchronized or not with the production of these lyrics during encoding: 1) participants sing in unison with the model or 2) participants hear the model without singing. Results of this study are presented and discussed in the first two articles of the experimental section. Globally, music does not show aid for learning measured in immediate recall; we even observed a harmful effect when lyrics are sung on a non-familiar melody. But music helps long-term retention of lyrics, particularly for AD participants. Nevertheless, music does not clearly interact with learning procedure involving unison singing. The second study of the thesis investigates the learning of gesture sequences. Similarly to the first study, we explore influence of music versus silence as background accompaniment, and synchronized production versus observation of gestures during encoding. Results (article 3) showed again no interaction between background accompaniment and learning procedure, but different effects of each variable on both groups. Learning gestures with synchronized production is beneficial for normal controls, but harmful for AD participants. On the other hand, musical accompaniment led to greater benefit for AD participants than for controls. In the general discussion, we present the implications of these results for fundamental and clinical neuropsychology. We propose some recommendations to maximize these effects and make them relevant for therapeutic care.

English title: Using music as a mnemonic in normal aging and Alzheimer's disease

Keywords: Alzheimer; Aging; Learning; Long-term Memory; Music; Action; Mnemonic.



---

# **PARTIE THÉORIQUE**

---



---

# Introduction

---

Le vieillissement grandissant de la population dans les sociétés occidentales représente un enjeu crucial sur le plan économique, psychosocial et de la santé. En France, l'espérance de vie est actuellement de 77.8 ans pour les hommes et 84.5 ans pour les femmes (Danet, Cocagne, & Fourcade, 2011). En 2040, un tiers de la population française devrait être âgé de plus de 60 ans, soit plus de 20 millions de personnes. Au Canada, l'espérance de vie est également en constante augmentation (79 ans pour les hommes et 83 ans pour les femmes en 2008 ; prévision pour 2031 de 82 ans pour les hommes et 86 ans pour les femmes selon Statistique-Canada, 2011).

Le vieillissement est par ailleurs le plus grand facteur de risque de développement de maladies neurodégénératives. La plus connue et répandue est la maladie d'Alzheimer (MA), qui représente près de 70 % des cas de démence. Décrite pour la première fois au début du 20<sup>e</sup> siècle par le psychiatre allemand Aloïs Alzheimer, elle touche aujourd'hui près de 25 millions de personnes dans le monde, avec le double de cas attendu pour 2020 selon une étude française (Gallez, 2005) ; 35 millions actuellement et prévision de 115 millions en 2050 selon les chiffres de Société Alzheimer Canada (2010). En France, la MA et les syndromes apparentés frappent environ 860 000 personnes aujourd'hui (avec plus de 225 000 nouveaux cas par année) – soit 3 millions de personnes concernées si on inclut l'entourage familial. En prenant en compte le vieillissement de la population et l'amélioration des outils et politiques de diagnostic, 1.3 million de personnes atteintes pourraient être recensées en 2020, soit 20 % des personnes de plus de 75 ans (Gallez, 2005; INSERM, 2007). Au Canada, avec 500 000 cas actuellement et plus de 100 000 nouveaux cas par an, on prévoit 1 100 000 personnes atteintes d'ici une génération, soit une personne sur 20 de plus de 65 ans, et une sur 4 de plus de 85 ans (Diamond, 2006). Le coût estimé de prise en charge par le gouvernement est de 15 milliards de dollars (plus de 800 milliards (coût cumulatif) estimés pour 2038 selon Société-Alzheimer-Canada, 2010).

Face à ces enjeux économiques et sociaux indéniables, la recherche a un rôle important à jouer. Différentes disciplines de recherche s'activent de manière complémentaire autour des questions de prévention, diagnostique et prise en charge, dans le but de mieux comprendre et s'adapter aux caractéristiques du vieillissement normal et pathologique. Les recherches en biologie progressent et représentent un espoir pour les générations futures. L'approche de la neuropsychologie et des neurosciences cognitives est cruciale car elle permet l'amélioration de la prise en charge des malades d'aujourd'hui et de demain.

L'objectif de ce travail est d'étudier si et comment la musique pourrait représenter un support efficace pour faciliter les nouveaux apprentissages verbaux (Étude 1) et gestuels (Étude 2) chez les personnes âgées saines et atteintes de démence de type Alzheimer. Il s'inscrit dans la problématique de prise en charge des troubles cognitifs liés au vieillissement normal et pathologique, dont la plainte mnésique est la plus fréquemment formulée.

Le premier chapitre de la partie théorique présente une description succincte des caractéristiques cliniques de ce déclin cognitif, puis aborde les stratégies d'intervention actuelles pour l'entraînement et la stimulation cognitive auprès de ces populations. Nous verrons que cette

littérature fait état de résultats encourageants mais comporte aussi des limites, et que le besoin de solutions efficaces perdure, en particulier dans le domaine de la stimulation de la mémoire.

Parallèlement, les deux dernières décennies ont donné lieu à un développement important des recherches en cognition musicale, qui ont notamment mis en évidence des effets de plasticité cérébrale liés à la pratique – mais aussi à l'écoute – musicales, ainsi qu'un transfert positif d'habiletés vers des fonctions cognitives et motrices plus générales (non dirigées vers la musique). Sur la base de ces observations, de nombreuses recherches ont tenté d'utiliser la musique à des fins de stimulation et de thérapie, dans le but de développer ou rétablir certaines fonctions cognitives ou motrices. Le second chapitre de la partie théorique présente ce champ de recherche appliqué au vieillissement normal et pathologique, et propose différentes hypothèses pour expliquer les mécanismes responsables des bénéfices observés.

L'approche neuropsychologique de la remédiation cognitive est fortement basée sur l'utilisation des capacités les mieux préservées pour soutenir les fonctions atteintes. Dans ce contexte, ces stratégies de stimulation par l'activité musicale présupposent que les habiletés musicales soient particulièrement robustes face au déclin cognitif lié au vieillissement et à la démence, rejoignant l'idée traditionnelle d'un statut « spécial » du traitement de la musique dans la cognition. Ce point est important à adresser sur le plan scientifique, pour les raisons suivantes. D'une part, il est essentiel que le matériel utilisé soit accessible aux populations visées du point de vue de sa perception et de son traitement. D'autre part, lorsque l'objectif est d'utiliser la musique comme moyen mnémotechnique, il convient de s'assurer que c'est un matériel qui est en soi possible à mémoriser pour les personnes, au moins autant que les autres types de stimuli. Le troisième chapitre tente de répondre à ces questions en présentant une synthèse de la littérature sur les habiletés de perception et mémoire musicales dans le vieillissement et la MA. Nous les comparons à la fois aux capacités musicales des sujets jeunes, mais aussi aux capacités non musicales de ces populations âgées saines et pathologiques, afin de les comparer au patron de préservation / altération observé dans les autres domaines cognitifs.

Le quatrième et dernier chapitre théorique discute plus directement le potentiel de la musique comme support de nouveaux apprentissages. La littérature actuelle a principalement débattu de cette question dans le domaine verbal, comparant l'apprentissage de mots ou de textes présentés de manière parlée ou chantée. Mais très peu d'études ont testé cette question dans des populations âgées ou présentant des troubles de mémoire. De plus, les données issues des études chez les jeunes adultes montrent des résultats qui semblent parfois contradictoires. Nous tentons d'intégrer cette apparente divergence par une réflexion autour des théories de la neuropsychologie de la mémoire, et de proposer différentes pistes expérimentales qui permettraient de démontrer l'intérêt de mettre en musique des paroles à mémoriser pour des sujets âgés avec et sans troubles mnésiques (Étude 1). Dans la seconde partie de ce chapitre, nous nous intéressons au potentiel de la musique pour soutenir des apprentissages gestuels. Aucune étude à ce jour n'a testé cette question. Nous exposons différents arguments qui nous permettent de penser que la musique représenterait un support intéressant pour l'apprentissage de séries de gestes (Étude 2).

Nous terminerons cette partie théorique en exposant les objectifs spécifiques et hypothèses pour les deux études de cette thèse, ainsi que la procédure générale utilisée. Les résultats seront ensuite présentés sous forme d'articles dans la partie expérimentale, pour le versant verbal (Articles 1 et 2) et gestuel (Article 3). Enfin, une discussion générale synthétise les résultats principaux issus de ce travail, et les resitue dans le contexte théorique et pratique de la neuropsychologie fondamentale et clinique.

---

# Chapitre 1 : Evaluation et Stimulation Cognitives dans le Vieillessement et la MA

---

Cette section décrit brièvement les caractéristiques cliniques du vieillissement et de la MA, puis présente et discute les grandes tendances actuelles d'interventions cognitives auprès de ces populations, en développant plus particulièrement celles qui visent à compenser le déclin mnésique.

## 1. Caractéristiques cliniques du vieillissement et de la MA

Le déclin cognitif lié au vieillissement dit « normal » commence, pour certaines fonctions, avant l'âge de 30 ans ; mais sa progression s'accélère et se généralise à une majorité de fonctions cognitives après 65 ans (voir l'ouvrage de Dujardin & Lemaire, 2008, pour un récapitulatif récent des aspects neuropsychologiques dans le vieillissement). Bien que ce déclin dépende en partie du milieu socio-culturel des personnes ainsi que de la diversité de leurs activités quotidiennes, certaines fonctions semblent plus fragiles, y compris dans le vieillissement normal. La réduction de la vitesse de traitement, des capacités attentionnelles et de la mémoire de travail est fréquente. Les fonctions exécutives, responsables d'actions plus ou moins complexes comme la planification, l'organisation, la résolution de problème, impliquant abstraction, jugement, inhibition d'informations non pertinentes, sont aussi relativement fragiles face au vieillissement normal (Bherer, Belleville, & Hudon, 2004). La plainte mnésique, souvent formulée par les personnes âgées, concerne en particulier la mémoire épisodique. Elle est le plus souvent liée à des difficultés attentionnelles et exécutives (Isingrini & Tacconnat, 2008), et à une efficacité moindre des stratégies mnésiques d'encodage et de récupération (Craik, 1999; Light, 1991). Certains auteurs proposent plus spécifiquement que le déclin de la mémoire épisodique chez les personnes âgées serait dû à une altération du processus d'association entre l'élément à mémoriser et ses informations contextuelles spécifiques (Chalfonte & Johnson, 1996; Mitchell, Johnson, Raye, & D'Esposito, 2000). En contraste, la mémoire sémantique et les fonctions langagières sont les plus robustes face aux effets de l'âge.

Il existe actuellement un débat concernant le statut de la MA. Selon certains, il ne s'agirait pas d'une maladie, mais de la conséquence normale du vieillissement cérébral, qui serait subie à différents âges selon les individus (voir l'ouvrage de Whitehouse & George, 2008, traduit en français par M. Van der Linden et A.-C. Juillerat Van der Linden). En d'autres termes, si les individus vivaient tous plus longtemps, ils finiraient tous par présenter ces symptômes à un moment donné. Cela dit, qu'elles tiennent du développement normal avancé ou d'une évolution pathologique, ses caractéristiques biologiques et neuropsychologiques restent actuellement définies dans la communauté scientifique et clinique de la façon suivante.

D'un point de vue neuropathologique, la MA est caractérisée par deux types de lésion inter et intracellulaire. (1) Les plaques amyloïdes (contenant des agrégats de peptide  $\beta$ -amyloïde) s'accumulent entre les cellules nerveuses (neurones) et les empêchent de communiquer

efficacement entre elles. (2) La dégénérescence neurofibrillaire correspond à une accumulation anormale de filaments à l'intérieur des cellules nerveuses, provoquée par des agrégats de protéine Tau hyperphosphorylée, et qui entraîne la mort neuronale. Ces deux types de lésion provoquent donc une diminution du nombre de cellules nerveuses d'une part, et de la qualité de leur communication d'autre part. L'atrophie corticale qui en résulte (correspondant à une diminution du poids du cerveau de 8 à 10 %, contre 2 % chez un sujet sain) débute au niveau cortical dans le lobe temporal médial – et notamment dans l'hippocampe – puis s'étend aux régions temporo-pariétales et frontales (voir Allan, Sexton, Welchew, & Ebmeier, 2010, et Dubois, Feldman, Jacova, Cummings, Dekosky et al., 2010, pour des revues récentes des marqueurs biologiques dans la MA). La progression de la maladie s'étend sur une période allant de 8 à 10 ans en moyenne.

Les conséquences de cette dégénérescence neuronale sur le fonctionnement cognitif sont également graduelles, et montrent une certaine hétérogénéité selon les individus. Globalement, la plainte mnésique est celle formulée le plus fréquemment et le plus précocement (voir Adam, 2006, et Carlesimo & Oscar-Berman, 1992, pour des revues sur les capacités mnésiques dans la MA). Elle correspond à un trouble de la mémoire épisodique, et touche l'ensemble de ses processus : encodage (en particulier), stockage, consolidation et récupération en mémoire à long terme. Les nouveaux apprentissages deviennent donc de plus en plus difficiles, notamment ceux qui nécessitent la récupération consciente d'informations apprises dans un contexte spatio-temporel particulier. Dans les tests neuropsychologiques, cette atteinte est révélée par un déficit aux épreuves de rappel libre, de rappel indicé et de reconnaissance, ainsi que par un taux d'oubli important évalué en rappel différé (Giffard, 2001). Dans la vie de tous les jours, cela peut se traduire par des questions ou commentaires répétés dans un laps de temps parfois restreint, des oublis de rendez-vous à venir ou de rencontres passées (même si elles ont eu lieu dans la journée même), et une grande difficulté à fixer toute nouvelle information. Sur le plan autobiographique, les souvenirs anciens, mieux consolidés et transformés en souvenirs sémantiques pour une grande part, sont mieux conservés que les souvenirs d'événements plus récents (Dorrego, Sabe, Garcia Cuerva, Kuzis, Tiberti et al., 1999; Piolino, Martinelli, Viard, Noulhiane, Eustache et al., 2010).

La mémoire sémantique (Laisney, Giffard, & Eustache, 2004), la mémoire à court terme et la mémoire de travail (Adam & Collette, 2007), les fonctions attentionnelles et exécutives (Bherer et al., 2004), le langage (Emery, 2000), et la perception visuo-spatiale et les praxies peuvent également être perturbés de façon précoce, mais de manière plus hétérogène. Des troubles moteurs sont également fréquents : contrôle postural, équilibre, vitesse de réalisation des mouvements, coordination, motricité fines sont fragilisés (Kurlan, Richard, Papka, & Marshall, 2000).

Dès le stade léger ou modéré peuvent aussi apparaître des troubles du comportement (inertie, apathie, dépression et anxiété, plutôt en début de maladie ; agressivité, agitation, déambulation, plutôt en stade avancé). Les troubles du comportement ou de la communication peuvent parfois être liés à des difficultés d'identification des expressions émotionnelles (Luzzi, Piccirilli, & Provinciali, 2007). Un dérèglement des fonctions végétatives peut également survenir (sommeil ou appétit perturbés, par exemple). D'une manière générale, les personnes Alzheimer sont assez peu conscientes de leurs atteintes (phénomène d'anosognosie, voir Salmon, Ruby, Perani, Kalbe, Laureys et al., 2005).

Le tableau clinique de la MA montre aussi certaines capacités mieux préservées, notamment les formes d'apprentissage et de mémoire plus automatiques, dites implicites (voir

Adam, 2006 pour une revue). Par exemple, des capacités équivalentes à celles des sujets âgés sains sont mises en évidence jusque dans les stades modérés de la MA dans des tâches d'apprentissage implicite statistique (pour des études utilisant différents paradigmes, voir Eldridge, Masterman, & Knowlton, 2002; Moussard, Bigand, Clément, & Samson, 2008; Reber, Martinez, & Weintraub, 2003). La mémoire implicite associative (tâches d'amorçage, voir par exemple Fleischman, Gabrieli, Gilley, Hauser, Lange et al., 1999) ou procédurale (Van Halteren-Van Tilborg, Scherder, & Hulstijn, 2007, pour une revue) est également plus robuste. Les patients MA peuvent ainsi se montrer capables d'acquérir de nouvelles habiletés, comme la lecture ou l'écriture en miroir (Deweert, Pillon, Michon, & Dubois, 1993 ; voir cependant Merbah, Salmon, & Meulemans, 2011, pour des résultats contraires).

## **2. Entraînement cognitif dans le vieillissement normal**

Les effets de différents types d'entraînement sur le fonctionnement cognitif des personnes âgées ont été largement étudiés. Ces interventions ont comme objectif ultime de prévenir ou retarder l'apparition de démences. Les types d'interventions sont multiples, et peuvent impliquer la pratique sportive (voir par exemple Heyn, Abreu, & Ottenbacher, 2004, pour une méta-analyse sur l'entraînement cardiovasculaire avec effets globalement positifs sur la cognition), ou la réunion sociale (groupes de discussion ou d'activités manuelles, dont le but est principalement de lutter contre l'isolement et la diminution des stimulations chez les personnes âgées). Un important versant de la recherche s'intéresse aux effets de l'entraînement cognitif. Ces approches sont basées sur l'hypothèse que le cerveau humain montre une certaine forme de plasticité qui, bien que plus importante chez l'enfant, perdure tout au long de la vie (Greenwood, 2007; Jones, Nyberg, Sandblom, Stigsdotter Neely, Ingvar et al., 2006).

Trois grands types d'approche peuvent être distingués. Le premier consiste à entraîner un ou plusieurs processus fondamentaux, dans le but d'améliorer le fonctionnement cognitif de manière générale. Cette approche est basée sur l'idée que les troubles cognitifs des aînés pourraient être dus à une diminution de la vitesse de traitement de l'information (Salthouse, 1996) et/ou à une fragilité du fonctionnement exécutif (Bugajska, Clarys, Jarry, Tacconat, Tapia et al., 2007). L'intervention porte donc sur des exercices impliquant ces fonctions ainsi que la mémoire de travail. Le second type d'intervention consiste en l'entraînement d'un ou plusieurs processus ciblés pour améliorer directement leur efficacité (et éventuellement leur coordination ; voir par exemple Mahncke, Connor, Appelman, Ahsanuddin, Hardy et al., 2006). Ces stratégies portent souvent sur les habiletés attentionnelles ou perceptives. Ces deux types d'entraînement peuvent être opérationnalisés via un entraînement purement « cognitif » (par exemple, des exercices informatisés ciblant des processus spécifiques) ou lors de séances de stimulation plus récréatives, mais visant à impliquer les mêmes processus (jeux vidéo, cuisine, activités artistiques telles que théâtre, peinture, musique – les interventions musicales seront plus particulièrement développées dans notre second chapitre). Le troisième type d'intervention est basé sur l'enseignement d'une stratégie pour favoriser une meilleure utilisation d'une fonction (par exemple, Winocur, Craik, Levine, Robertson, Binns et al., 2007), et est souvent utilisée pour améliorer le fonctionnement mnésique (développé plus précisément ci-après).

L'efficacité de ces programmes est souvent questionnée, et les revues de littérature récentes mènent à des conclusions tantôt très enthousiastes (Valenzuela & Sachdev, 2009), tantôt plus réservées (Reichman, Fiocco, & Rose, 2010; Tardif & Simard, 2011). Plusieurs limites sont adressées. Tout d'abord, étant donné que les programmes utilisent souvent plusieurs de ces trois

types d'intervention, il est difficile de conclure quant à l'efficacité de chacun (Tardif & Simard, 2011). Aussi, la taille des effets est variable. La revue de Valenzuela et Sachdev (2009) rapporte des tailles d'effet moyenne à grande. Il faut noter cependant que 6 études sur les 7 prises en compte n'ont pas de groupe contrôle placebo (actif), qui permettraient de distinguer les progrès d'un simple effet de prise en charge. Sur la base de 14 études, Tardif et Simard (2011) rapportent quant à eux une taille d'effet plutôt faible.

Un autre questionnement concerne la durabilité des effets observés. Le suivi à long terme n'est pas toujours effectué, ou mène à des résultats mitigés (Reichman et al., 2010). De manière encourageante, Willis et collaborateurs (Willis, Tennstedt, Marsiske, Ball, Elias et al., 2006) ont observé un maintien de bénéfices 5 ans après la fin de l'entraînement dans une cohorte de plus de 2800 personnes âgées sans troubles cognitifs. Cependant, peu d'études mesurent l'incidence de l'intervention sur la prévalence de démence développée dans les groupes entraînés et non entraînés. Enfin, une question importante et largement débattue est celle du transfert des bénéfices. Si les améliorations des performances restent spécifiques aux tâches entraînées en laboratoire, l'intérêt pour les personnes est moindre. Or beaucoup d'études ne testent pas ou ne mettent pas en évidence une généralisation des bénéfices aux tâches non entraînées, ou décrivent une difficulté à transférer les stratégies acquises aux situations de la vie quotidiennes (Tardif & Simard, 2011).

Le domaine d'intérêt du présent travail nous amène à considérer plus particulièrement les interventions portant sur la stimulation de la mémoire des personnes âgées. Il est maintenant largement admis que la mémoire ne se comporte pas comme un muscle. Des exercices d'apprentissage ne vont donc pas améliorer son fonctionnement général. Le principe des interventions dans le champ de la mémoire repose sur l'enseignement de stratégies qui vont permettre, non pas de rétablir la fonction, mais de faciliter son utilisation (Bier, Desrosiers, & Gagnon, 2006). Notamment, ces stratégies visent à améliorer l'encodage et faciliter la récupération des informations. Plusieurs méthodes ont été développées (Van der Linden, Belleville, & Juillerat, 2000), portant sur deux grandes stratégies : l'imagerie mentale et l'élaboration verbale. Au sein des stratégies d'imagerie, on compte notamment la méthode des lieux (ou méthode de Loci), l'association nom-visage, ou l'imagerie interactive. Le principe est de créer une image mentale qui intègre les éléments à mémoriser, de façon à fournir un encodage plus profond, et un indice lors de la récupération. Les techniques d'élaboration verbale consistent à mieux organiser le matériel à mémoriser (comme un texte) pour en hiérarchiser les informations en fonction de leur importance.

Les mêmes questions de taille d'effets, maintien à long terme et généralisation des bénéfices s'appliquent à ces études, avec à nouveau des observations parfois contradictoires. La méta-analyse de Verhaeghen et collaborateurs (Verhaeghen, Marcoen, & Goossens, 1992), rapporte des effets positifs, bien que modestes (+ 0.73 écart-type de gain ; + 0.38 et 0.37 dans les groupes contrôles actifs et inactifs). L'étude de montre pas de différence entre les différentes stratégies utilisées (requérant toutes de l'imagerie mentale). Les auteurs notent également que les interventions de groupe semblent plus bénéfiques que les interventions individuelles. Une étude plus récente (Ball, Berch, Helmers, Jobe, Leveck et al., 2002) a également montré des effets modestes d'entraînement aux stratégies mnésiques chez 711 participants âgés, après 10 séances étalées sur 5 semaines. Les effets de l'entraînement étaient maintenus 2 ans plus tard. Par contre, l'étude ne met pas en évidence d'effets de transfert pour les mesures concernant les activités de la vie quotidienne (rejoint Verhaeghen et al., 1992). De manière intéressante, Bottiroli et collaborateurs (Bottiroli, Cavallini, & Vecchi, 2008) ont montré que les effets maintenus après 2

ans sont plus importants pour les tâches expérimentales qui sont plus proches des activités de la vie quotidienne (comme l'association nom-visage) que pour celles qui en sont plus éloignées (comme le rappel d'une histoire). Cette observation témoigne de l'importance entre la pratique fréquente d'une opération mentale et son bon fonctionnement, suggérant (1) l'intérêt d'ajuster les tâches d'entraînement avec celles requises dans la vie quotidienne, et (2) l'intérêt de maintenir une pratique même après la fin de l'intervention.

Une autre limite à l'enseignement de stratégies est qu'elle est coûteuse sur le plan cognitif et nécessite un certain nombre de séances de pratique afin d'apprendre à les utiliser efficacement, et à identifier les contextes où elles vont s'avérer pertinentes (Bier et al., 2006; Brooks, Friedman, & Yesavage, 1993). Ce coût peut expliquer que ces stratégies s'avèrent moins efficaces chez les personnes les plus âgées (Verhaeghen et al., 1992), et questionne la pertinence de ces interventions chez des personnes avec troubles cognitifs, dont les ressources sont limitées.

Pourtant, une étude encourageante de Belleville et collaborateurs (Belleville, Gilbert, Fontaine, Gagnon, Menard et al., 2006) a testé l'effet d'un entraînement attentionnel et d'enseignement de stratégies mnémotechniques (imagerie interactive, méthode de Loci, association nom-visage, et organisation hiérarchique d'un texte) chez 20 participants atteints de troubles cognitifs légers (TCL). Après 8 séances, les participants du groupe entraîné (et non ceux du groupe contrôle) montraient une amélioration de leurs scores sur les mesures d'apprentissage de liste de mots (en rappel immédiat et différé) et d'association nom-visage (mais pas sur la mémorisation de textes, qui était la troisième mesure cible). Ils montraient aussi une amélioration des mesures subjectives des capacités mnésiques (dans une moindre mesure). La taille des effets observés était moyenne à grande, les participants TCL atteignant même en post-test le niveau de pré-test des participants âgés sains. Cependant, une nuance est à apporter due au fait que le groupe contrôle était inactif. Aussi, l'étude ne mesure pas le maintien à long terme ni la généralisation des bénéfices observés.

Dans une étude suivante, Belleville et collaborateurs (Belleville, Clément, Mellah, Gilbert, Fontaine et al., 2011) ont comparé les activations de réseaux neuronaux lors d'une tâche d'apprentissage d'une liste de 12 mots avant et après un programme d'entraînement du même type que celui décrit précédemment, chez des personnes âgées normales et TCL (15 participants par groupe). Après entraînement, les participants TCL recrutaient un réseau neuronal plus étendu, incluant les régions typiquement impliquées dans la mémoire épisodique, mais aussi de nouvelles activations probablement relatives à l'utilisation des moyens mnémotechniques. En particulier, l'activation nouvelle du lobe pariétal droit, région impliquée dans la mémoire visuo-spatiale, étaient corrélée aux performances comportementales observées après (et non avant) l'entraînement. Aussi, les différences d'activation entre les participants âgés normaux et TCL étaient atténuées après l'entraînement. Ces données sont encourageantes car elles suggèrent que l'entraînement cognitif peut amener à une réorganisation fonctionnelle des processus mnésiques, y compris chez des personnes avec difficultés cognitives.

### **3. Stimulation cognitive dans la MA**

Dans la MA, la prise en charge se doit d'être complète et pluridisciplinaire. Grâce aux associations et fondations Alzheimer, de plus en plus de soutien psychologique et social est offert aux personnes atteintes ainsi qu'aux aidants. Des services sont également proposés (via l'intervention de professionnels en ergothérapie, orthophonie ou neuropsychologie) pour aider à l'aménagement de l'environnement et des activités pour une meilleure adéquation avec les

contraintes dictées par la maladie. Sur le plan médical, certains médicaments permettent de réduire ou retarder les symptômes cognitifs, bien que leurs effets restent modestes (par exemple, Bassil & Grossberg, 2009).

Sur le plan de la stimulation cognitive, on peut distinguer les interventions à visée *compensatoire* de celles à visée *restorative* (Sitzer, Twamley, & Jeste, 2006). Les interventions compensatoires consistent à travailler autour des déficits par l'enseignement de stratégies permettant de les compenser (elles peuvent être « internes » et jouer par exemple sur la profondeur de l'encodage lors d'une tâche d'apprentissage, ou « externes », comme l'utilisation d'un agenda ou carnet-mémoire). Basées sur un enseignement explicite, ces interventions sont davantage destinées aux patients en stade léger de démence. Les stratégies restauratives visent quant à elles à réduire l'ampleur des déficits dans les stades modérés à sévères. Elles peuvent porter sur l'entraînement à différents exercices de stimulation cognitive, comme développé précédemment dans le vieillissement normal, mais adapté au niveau cognitif en fonction du stade de démence. Deux techniques sont souvent utilisées : la thérapie de réminiscence, qui vise à inciter les patients, souvent par petits groupes, à évoquer des souvenirs personnels anciens ; et la thérapie d'orientation dans la réalité, dont le but est d'améliorer l'orientation spatiotemporelle et rétablir des repères d'identité par la présentation continue d'informations d'orientation (lieu, date, saison, contexte, etc...). Ces approches sont importantes pour favoriser le maintien du sentiment d'identité et la baisse de l'anxiété chez les patients en stade de démence plus avancé.

Une méta-analyse effectuée sur 17 études contrôlées et randomisées a montré que les personnes MA pouvaient montrer de petits bénéfices de ces interventions en attention, vitesse de traitement de l'information et de réalisation motrice, des bénéfices modérés en fonctions exécutives, et des bénéfices plus importants en apprentissage visuel et verbal, et dans les activités de la vie quotidienne (Sitzer et al., 2006). La taille des effets semble plus importante pour les interventions restauratives plutôt que compensatoires ( $d$  de Cohen = .54 et .36, respectivement). Cependant, lorsqu'on ne considère que les études dont le groupe contrôle est actif (participe à une autre activité à la même fréquence), cette différence disparaît et l'ensemble des effets est plus bas. Cette méta-analyse montre qu'il est difficile de tirer des conclusions claires sur l'efficacité des interventions sur la cognition chez les personnes atteintes de MA. Des conclusions moins encourageantes encore sont issues d'une méta-analyse sur 9 études par Clare et collaborateurs (Clare, Woods, Moniz Cook, Orrell, & Spector, 2003), ne montrant pas d'effets positifs – ni négatifs – de l'entraînement cognitif chez des patients MA légers (ou atteints de démence vasculaire).

Les interventions plus spécifiquement dirigées vers la stimulation de la mémoire mènent également à des résultats mitigés. Dans une étude contrôlée et randomisée (Cahn-Weiner, 2003), des participants MA en stade léger montrent, après 6 séances d'entraînement à des stratégies mnémotechniques classiques, un effet modeste sur les items entraînés (c'est-à-dire sur les listes de mots apprises pendant les séances). Mais aucun effet de transfert n'est observé sur les autres mesures neuropsychologiques. Dans l'étude de Bäckman et collaborateurs (Bäckman, Josephson, Herlitz, Stigsdotter, & Viitanen, 1991) un seul participant MA sur 7 montre un bénéfice de l'entraînement à la méthode d'imagerie pour l'association nom-visage. Plus récemment, Hussey et collaborateurs (Hussey, Smolinsky, Piryatinsky, Budson, & Ally, 2011) ont confirmé que les personnes MA, même en stade léger, ne bénéficiaient pas comme les personnes âgées saines des enseignements de stratégies mnémotechniques. Les auteurs cherchent alors à déterminer si ce déficit est relié à une difficulté dans le fait de générer des images mentales, ou plutôt dans le fait de les retrouver ensuite en mémoire épisodique. Il semblerait que

les deux explications soient complémentaires : les participants peinent à retrouver les images générées, mais aussi à générer des images complexes (ils sont capables de générer des images simples, mais il a été démontré par ailleurs que les images trop simples ne sont pas efficaces comme mnémotechnique).

Une autre difficulté évidente est que pour utiliser un moyen mnémotechnique, il faut se souvenir de son utilité, du fait de l'avoir acquis, et avoir la capacité d'en initier l'utilisation (Craik & Rose, 2011). Cette démarche volontaire et contrôlée représente une limite importante pour l'utilisation de cette stratégie par des personnes atteintes de troubles cognitifs. C'est pourquoi d'autres études se sont intéressées à la possibilité d'utiliser plutôt les capacités les mieux préservées de ces personnes pour faciliter l'acquisition de connaissances spécifiques (voir Bier et al., 2006). Par exemple, la technique de récupération espacée vise à apprendre une information à une personne avec trouble mnésique, en lui demandant de la récupérer après un délai de plus en plus long (de quelques secondes à plusieurs minutes). Lorsque la personne ne parvient pas à récupérer l'information, elle lui est redonnée, et l'intervalle de temps avant la prochaine récupération est diminué, puis augmenté à nouveau progressivement ensuite. La technique d'estompage présente une logique similaire : le nombre d'indices proposés pour la récupération d'une information à mémoriser est diminué progressivement (et temporairement ré-augmenté en cas d'échec) jusqu'à ce que la personne puisse récupérer l'information sans indice. Ces techniques sont basées sur une approche d'apprentissage dite « sans erreur », qui repose sur l'idée que les participants atteints de troubles de la mémoire épisodique peinent à rejeter les erreurs qu'ils ont préalablement commises durant l'apprentissage : ne pouvant se remémorer épisodiquement que tel item provenait d'une erreur commise, l'item erroné – qui leur est familier – et a tendance à être renforcé en mémoire comme un item cible (Kessels & De Haan, 2003).

Ces stratégies sont intéressantes car elles reposent sur les processus de mémorisation implicite, qui sont davantage préservées dans la MA, et demandent moins d'efforts conscients et d'attention que les enseignements de stratégie mnémotechniques. Par contre, les bénéfices observés restent spécifiques au matériel d'entraînement ; il doit donc être rigoureusement choisi pour être en adéquation avec les besoins concrets de chaque individu dans son quotidien (Bier et al., 2006).

#### **4. Résumé et perspectives**

En résumé, la MA est une maladie très fréquente et très handicapante pour les personnes atteintes et leur famille, et peu de solutions consensuelles et efficaces sont disponibles actuellement, que ce soit au niveau préventif (chez les personnes âgées sans trouble cognitif) ou curatif (prise en charge des personnes atteintes). Les études de stimulation cognitive semblent prometteuses chez les personnes âgées saines, mais plus de suivi à long terme serait nécessaire pour prédire la valeur « protectrice » de ses entraînements contre le risque de développement d'une démence. De plus, une grande hétérogénéité existe dans les différentes stratégies d'intervention cognitives, et il est difficile de discriminer celles qui montrent de meilleurs résultats. Enfin, la taille des effets, leur durabilité, et leur transfert aux activités de la vie quotidienne restent des questions ouvertes au débat.

En réponse à la plainte mnésique des personnes âgées, atteintes ou non de MA, différents programmes d'intervention ont été développés. Les enseignements de stratégies pour maximiser l'encodage et la récupération de nouvelles informations semblent relativement efficaces chez les personnes âgées sans troubles cognitifs ou avec troubles cognitifs légers, mais plus difficile à

mettre en place chez des patients MA. Les stratégies reposant sur la mémoire implicite, mieux préservée malgré l'atteinte cognitive, semblent plus efficaces mais le gain pour les personnes reste souvent très modeste.

Face au besoin persistant de soin aux personnes âgées, différentes stratégies « alternatives » se sont développées. Parmi elles, les interventions musicales ont connu un essor majeur, avec des visées thérapeutiques sur le plan psychologique, mais aussi cognitif et moteur. Le chapitre suivant traite des différents champs d'interventions utilisant la musique auprès de personnes âgées saines et atteintes de démence, et propose différentes hypothèses pour expliquer les mécanismes qui seraient à la base des effets observés.

---

# Chapitre 2 : La Musique comme Outil de Stimulation Cognitive

---

Les vertus thérapeutiques de la musique sont documentées depuis la Grèce antique (Jamblique, 2009). Aujourd'hui, la musique est de plus en plus utilisée dans la pratique clinique, auprès de pathologies très variées (comportementales, psychologiques, psychiatriques, neurologiques, cognitives, sensorielles, motrices), à la fois en stimulation et en remédiation (voir Moussard, Rochette, & Bigand, sous presse, pour une revue). Bien que ces pratiques ne soient pas systématiquement soutenues par un modèle théorique clair et une validation expérimentale contrôlée, de plus en plus d'études neuroscientifiques cherchent à mesurer et expliquer ces effets. Le présent chapitre pose la question du potentiel de l'activité musicale pour préserver des symptômes du vieillissement (première partie) et de la démence (seconde partie). Dans la troisième section, nous exposons les différentes hypothèses qui peuvent être proposées pour expliquer ces bénéfices.

## 1. Activité musicale et vieillissement normal

De manière anecdotique, Grant et Brody (2004) ont observé que sur un échantillon de 23 musiciens âgés membres d'un même orchestre, aucun ne montraient de déclin cognitif pathologique. Or, selon la prévalence attendue dans la population démographique correspondante, 8 ou 9 de ces personnes « auraient dû » présenter une démence. Ces observations sont à reproduire dans un échantillon plus large et contrôlé, mais elles illustrent l'idée que la pratique musicale préserverait de la démence.

Certaines études ont mis en évidence un déclin moins important au niveau du traitement auditif chez les personnes âgées musiciennes. Par exemple, elles montreraient de meilleures performances que leurs pairs non musiciens dans des tâches de détection de sons concurrents ou de compréhension de paroles dans un environnement bruyant (Parbery-Clark, Skoe, Lam, & Kraus, 2009; Parbery-Clark, Strait, Anderson, Hittner, & Kraus, 2011; Zendel & Alain, 2008, 2011).

Des effets similaires sont retrouvés au niveau cognitif. Chez des sujets âgés sains entre 60 et 83 ans, Hanna-Pladdy et MacKay (2011) ont trouvé que les musiciens (10 ans ou plus de formation musicale académique) avaient de meilleures performances que les participants des deux autres groupes (non musiciens ou musiciens avec moins de 10 ans de formation musicale, appariés en âge et niveau de scolarité) dans des tâches de mémoire non verbale (*Wechsler Memory Scale*), de dénomination verbale (*Boston Naming Test*), et de fonctions exécutives (*Trail Making Test*). Dans une étude longitudinale visant à déterminer les activités des personnes âgées qui sont associées à une meilleure préservation de la cognition, Verghese et collaborateurs (2003) ont suivi une cohorte de 469 sujets âgés de 75 à 85 ans logeant en résidences pour personnes âgées, et ne présentant pas de signes de démence lors de leur inscription à l'étude. Les participants devaient indiquer, lors de deux entretiens (test-retest, à un an d'intervalle), la

fréquence de leur participation à chacune de 6 activités cognitives et 11 activités physiques prédéterminées, sur une échelle allant de « jamais » à « quotidiennement » (Note : les auteurs ne rapportent pas sur quelle base ces 17 activités ont été sélectionnées). L'évaluation du risque de démence en fonction du type et de la fréquence des activités effectuées était calculée par un modèle de régression, contrôlant pour l'âge, le genre, le niveau de scolarité, et le profil cognitif à l'inscription dans l'étude. Parmi les 4 activités qui étaient associées à une réduction significative du risque de démence, deux impliquaient la musique : jouer d'un instrument et danser (les deux autres étaient la lecture et les jeux de société). La portée de ces résultats reste cependant limitée. Tout d'abord, l'expertise musicale des participants n'est pas répertoriée ; aussi, le type de pratique n'est pas renseigné. Les auteurs indiquent que l'activité doit être pratiquée « fréquemment » pour avoir un effet significatif (plus d'une fois par semaine), mais la durée et fréquence exacte de l'activité n'est pas contrôlée. Il se peut aussi que d'autres activités confondues (non mesurées) aient été influentes. Par exemple, les personnes musiciennes sont peut-être aussi celles qui ont une plus grande activité artistique (musées, théâtre), ou sociale, ce qui peut être déterminant pour le maintien cognitif. Aussi, le patrimoine génétique pourrait différer chez les musiciens et les non musiciens (Kraus & Chandrasekaran, 2010). Dans ce cas, la pratique musicale ne serait pas la cause de la préservation de la cognition, mais plutôt les deux seraient des conséquences de ces prédispositions génétiques. Ces dernières remarques concernent l'ensemble des études portant sur les sujets musiciens et représentent un questionnement théorique plus large concernant les causes des bienfaits de la pratique musicale sur la cognition (discutées dans ce chapitre en section 3.2).

Si l'expertise musicale acquise tout au long de la vie semble préserver du déclin cognitif et sensoriel lié au vieillissement, qu'en est-il de l'entraînement musical à plus court terme, et débuté plus tard dans la vie ? Cette question est importante car elle supposerait que des personnes âgées n'ayant jamais pratiqué de musique pourrait bénéficier aussi de ses effets positifs après un programme d'entraînement adapté. Pour y répondre, Bugos et collaborateurs (Bugos, Perlstein, McCrae, Brophy, & Bedenbaugh, 2007) ont réparti aléatoirement 31 participants âgés sains (60 à 85 ans) en deux groupes. Seul le groupe expérimental suivait un entraînement musical durant 6 mois, qui consistait en une séance de leçon de piano de 30 minutes par semaine (avec encouragements à pratiquer seul au moins 3 heures par semaine entre les séances). Les participants du groupe expérimental (et non ceux du groupe contrôle) ont montré une amélioration suite à l'entraînement dans les tests de flexibilité mentale (*Trail Making Test*, planche B). De plus, cette amélioration était maintenue 3 mois après la fin de l'entraînement (avec un gain de 22 secondes sur la planche B : 72 secondes en moyenne versus 94 pour le groupe contrôle). Les participants ont aussi montré une amélioration au test de *Digit Symbol* (sous test de l'échelle WAIS III), impliquant la rapidité de traitement de l'information visuelle et la mémoire à court terme ; cette amélioration était également maintenue après le délai de 3 mois (plus 16 symboles complétés pour le groupe expérimental : 72 symboles versus 56 pour le groupe contrôle). Les autres mesures (WAIS III : *Digit Span Forward & Backward*, *Block Design* and *Letter Number Sequencing*) n'ont pas montré de différence claire entre les deux groupes de participants. Cette étude est intéressante, car les deux groupes étant équivalents au départ, les effets observés peuvent être plus directement imputables aux effets de la pratique musicale, et non à des variables confondues, comme dans les études chez les musiciens. Cependant, pour s'assurer de ce point, il serait également important de comparer l'effet de cet entraînement musical avec un autre entraînement, afin de le distinguer d'un simple effet de prise

en charge, ou, par exemple, d'un effet d'activité « sociale » (y compris lors de séances individuelles, dans l'interaction entre participant et professeur ou thérapeute).

## **2. Stimulation par la musique dans la maladie d'Alzheimer**

De nombreuses études ont suggéré que des thérapies musicales pouvaient amoindrir les symptômes liés à la MA et améliorer la qualité de vie des patients ainsi que de leurs aidants (pour des revues, voir Koger & Brotons, 2000; Sherratt, Thornton, & Hatton, 2004). Plusieurs types d'intervention peuvent être distingués. La musique peut tout d'abord être utilisée pour réguler l'activité physiologique et l'état psychologique des patients (souvent dans les stades modérés à sévères). Svansdottir et Snaedal (2006) ont exposé un groupe de 20 participants atteints de MA en stade modéré à sévère à un programme de musicothérapie. Lors de 18 sessions (3 par semaine durant 6 semaines) d'une durée de 30 minutes, les patients étaient invités à chanter avec le thérapeute, utiliser différents instruments de musique, et éventuellement bouger et danser sur la musique. Les résultats obtenus en post-test (par un évaluateur aveugle) ont montré une réduction – dans le groupe expérimental uniquement – des symptômes d'agitation, d'agressivité et d'anxiété (mesurés par l'échelle d'évaluation des comportements dans la MA, *BEHAVE-AD*). Cependant, la significativité statistique de ce résultat semble faible (l'effet n'est obtenu qu'en combinant ces trois sous-tests de l'échelle). De plus, là encore, on note que le groupe contrôle est inactif, ce qui amoindrit encore la portée des résultats car questionne la spécificité de la stimulation musicale dans cette intervention.

Une réduction des mesures d'anxiété et de dépression a également été retrouvée chez des patients en stade léger à modéré de MA suite à des séances hebdomadaires d'écoute musicale (Guétin, Portet, Picot, Pommié, Messaoudi et al., 2009). Cette étude montre cependant différentes faiblesses méthodologiques. Notamment, l'activité du groupe expérimental semble clairement plus stimulante sur le plan cognitif et social que celle du groupe contrôle (où les participants sont invités à lire et/ou se reposer).

Dans une récente étude, Clément et collaborateurs (Clément, Tonini, Khatir, Schiaratura, & Samson, sous presse) ont comparé l'état émotionnel de patients Alzheimer en stade sévère suite à deux types d'intervention : séances d'écoute musicale versus séances de cuisine. L'état émotionnel des patients était évalué sur 3 mesures : l'expression faciale, le contenu du discours et l'humeur. Les expressions faciales et le contenu du discours étaient jugés (d'après les vidéos des séances) par 5 juges (dont 3 sont aveugles quant à l'appartenance des participants au groupe expérimental). L'humeur était évaluée d'après un test adapté du test *State-Trait Anxiety Inventory for Adults* (évaluateurs non aveugles). Après 2 et 4 semaines d'activité (à raison de deux séances de groupe par semaine), les patients montrent une amélioration pour les trois mesures dans la condition musicale, alors qu'une seule des trois – test de l'humeur – montre une amélioration après 2 semaines, et aucune ne montre d'amélioration après 4 semaines pour la condition « cuisine ». De plus, les effets bénéfiques observés dans le groupe « musique » sont maintenus jusqu'à 2 semaines après la fin de l'intervention pour la valence du discours, et jusqu'à 4 semaines pour l'humeur. Les effets semblent donc relativement robustes, malgré le petit échantillon de participants par groupe (n = 5 pour le groupe « musique », et n = 6 pour le groupe « cuisine »). Cependant, on peut noter que les participants du groupe musical choisissent eux même la musique à écouter, selon leurs préférences, alors qu'ils ne semblent pas choisir les recettes de cuisine, ce qui peut avoir eu un impact sur l'implication dans l'activité et/ou le ressenti émotionnel observé durant les séances.

La musique a aussi été utilisée pour stimuler la motricité (Götell, Brown, & Ekman, 2003) et lutter contre l'apathie (Holmes, Knights, Dean, Hodkinson, & Hopkins, 2006; Raglio, Bellelli, Traficante, Gianotti, Ubezio et al., 2010). Les bénéfices les plus significatifs ont été observés avec de la musique jouée en direct (comparativement à l'écoute de musique préenregistrée ; Holmes et al., 2006), ainsi qu'avec de la musique instrumentale (comparativement à du chant vocal seul ; Cevasco & Grant, 2003). L'activité musicale permet aussi parfois de maintenir ou rétablir la communication avec les patients les plus sévèrement touchés (Götell, Brown, & Ekman, 2009; Norberg, Melin, & Asplund, 2003; Ogay, Ploton, & Menuhin, 1996).

Enfin, la musique est également un outil de stimulation des fonctions cognitives et langagières dans la démence. Au niveau du langage, des thérapies musicales ont permis l'amélioration de certains aspects, comme les fluences verbales (Van der Winckel, Feys, De Weerd, & Dom, 2004), le contenu du discours (Brotons & Koger, 2000), et les comportements de stéréotypie verbale et les palilalies (Casby & Holm, 1994). Par exemple, dans l'étude de Van der Winckel et collaborateurs (2004), des sujets MA en stade modéré à sévère participent à des séances de danse sur différents styles de musique pendant trois mois. Après l'intervention, ils montrent un score en fluences catégorielles de 4 points supérieur à celui qu'ils avaient en prétest (10 à 14 points, test *ADS6*). Les participants du groupe contrôle (qui sont stimulés sur le plan conversationnel pendant le même nombre de séances) ne montrent pas cette amélioration. Notons cependant que ces participants contrôles ont un score de fluences moins élevé au prétest (6.5) ; ce degré de sévérité plus avancé peut avoir empêché leur progression lors de l'intervention.

Les thérapies dites de « réminiscence » utilisent également parfois la musique et ses liens avec la mémoire autobiographique (Foster & Valentine, 2001; Irish, Cunningham, Walsh, Coakley, Lawlor et al., 2006; Lord & Garner, 1993; voir chapitre 3, section 2.2).

Ainsi, les études concernant l'effet de la musique sur la cognition ou le comportement et bien-être des patients MA sont nombreuses. Cependant, on observe une grande hétérogénéité dans les interventions menées, et elles sont rarement basées sur une méthodologie scientifique rigoureuse (Koger & Brotons, 2000; Vink, Birks, Bruinsma, & Scholten, 2004) : manque de mesure objective, d'échelles standardisées, de groupe contrôle rigoureusement choisi. Aussi, sur le plan théorique, les explications des mécanismes sous-jacents manquent. La plupart de ces études ne permettent par exemple pas de déterminer quelle variable est déterminante (le type de musique, d'activité, la régularité ou la fréquence de stimulation, etc. ; Koger, Chapin, & Brotons, 1999). Mieux mesurer et comprendre les processus à l'origine des effets observés et améliorer la connaissance des interactions entre le traitement de la musique et les différents champs de la cognition (langage, mémoire, attention, émotion, motricité) permettrait de mettre au point des approches thérapeutiques mieux ciblées et de maximiser les répercussions de l'intervention musicale (Platel, en préparation).

### **3. Expliquer les effets positifs des stimulations et entraînements musicaux**

Plusieurs hypothèses – probablement complémentaires – cherchent à expliquer les effets bénéfiques de la musique en thérapie, observés dans un grand nombre de troubles et populations en stimulation et remédiation. Tout d'abord, la musique a une influence importante sur les réactions neurophysiologiques, probablement via les émotions qu'elle suscite, et peut induire des états d'éveil plus propices à la performance cognitive. Elle est aussi un vecteur de plasticité cérébrale anatomique et fonctionnelle, qui, de par la richesse de sa stimulation et la distribution

de son traitement, touche un grand nombre de compétences mentales. Enfin, ce partage de ressource avec d'autres compétences plus générales (non dirigées vers la musique) peut être à l'origine d'effets de transfert inter-domaines ; dans le cadre des recherches menées dans cette thèse, nous développerons particulièrement dans cette section les liens entre musique et langage, et musique et motricité.

### **3.1. Emotion et neurophysiologie liées à l'écoute musicale**

L'aspect stimulant de la musique peut engendrer un état d'éveil propice au bon fonctionnement global de l'individu, et de cette manière agir indirectement sur ses capacités cognitives. Cette hypothèse a notamment été proposée par Schellenberg et ses collaborateurs (Schellenberg, 2003, 2006; Schellenberg & Hallam, 2005; Schellenberg, Nakata, Hunter, & Tamoto, 2007; Thompson, Schellenberg, & Husain, 2001) pour expliquer le très controversé « effet Mozart » (Rauscher, Shaw, & Ky, 1993). Dans cette étude initiale, après l'écoute de la Sonate pour deux pianos en Ré majeur K448 de Mozart, les participants présentaient une amélioration à court terme de leurs habiletés de raisonnement spatial. Schellenberg et collaborateurs ont montré que cet effet n'est pas spécifiquement dû à la musique de Mozart, mais au fait que le morceau choisi est dynamique et à valence positive, ce qui augmenterait le niveau d'éveil (*arousal*) des sujets. Inversement, une musique à valence négative (triste) ne montre pas cet effet d'amélioration de performance (Schellenberg et al., 2007). L'effet facilitateur suivant l'écoute d'une musique agréable pour l'individu a été démontré chez des participants de tout âge et groupe ethnique, et pour différentes compétences cognitives (voir Latendresse, Larivée, & Miranda, 2006, pour une revue portant sur 26 études). Par exemple, l'« effet Blur » a été mis en évidence auprès d'adolescents anglais (Schellenberg & Hallam, 2005). De la même manière, des comptines traditionnelles permettent l'augmentation de la créativité dans les dessins de jeunes enfants japonais (Schellenberg et al., 2007).

Le fait que cet effet soit lié à la dimension psychoaffective de l'œuvre suggère qu'il dépend de l'effet émotionnel lié à l'écoute musicale. Or la musique est un vecteur privilégié d'émotions : la perception des émotions musicales est relativement robuste d'un individu à l'autre, et très rapide : 500 ms suffisent pour identifier la valence d'un extrait (par exemple Peretz, Gagnon, & Bouchard, 1998; Vieillard, Peretz, Gosselin, Khalfa, Gagnon et al., 2008), 250 ms dans les études de Bigand et collaborateurs (Bigand, Filipic, & Lalitte, 2005; Filipic, Tillmann, & Bigand, 2010). Ces mécanismes émotionnels sont fortement reliés à des réactions physiologiques. On peut distinguer les effets stimulants et apaisants liés à l'écoute musicale. D'un côté, la musique agit sur les composantes neurophysiologiques associées à l'état de stress en diminuant le taux de cortisol sécrété par les glandes salivaires. Ces effets sont présents dès les premiers stades du développement (Shenfield, Trehub, & Nakata, 2003) et retrouvés chez l'adulte (Khalifa, Dalla Bella, Roy, Peretz, & Blondin, 2003). D'un autre côté, l'écoute d'une musique plaisante et dynamisante peut aussi entraîner la libération de dopamine (Salimpoor, Benovoy, Larcher, Dagher, & Zatorre, 2011). Cet effet est fortement lié au plaisir éprouvé et corrélé à la sensation de « frisson musical » (Blood & Zatorre, 2001). D'autres études montrent que la musique influence également la production d'autres hormones stéroïdes comme la testostérone (voir Fukui, 2001), ou les hormones du système immunitaire comme l'Immunoglobuline A, qui est augmentée lors de la pratique du chant choral (Kreutz, Bongard, Rohrmann, Hodapp, & Grebe, 2004). L'écoute musicale influence par exemple les rythmes cardiovasculaire et respiratoire (Bernardi, Porta, & Sleight, 2006; Gomez & Danuser, 2007; Witvliet & Vrana, 2007). Ces effets

neurophysiologiques, cardiovasculaires et respiratoires peuvent expliquer pour une grande part l'effet analgésique produit par la valence émotionnelle des extraits musicaux, possiblement relié à la libération d'hormones opioïdes telles que la morphine (Roy, Peretz, & Rainville, 2008).

Ces études sont importantes à considérer pour un travail avec des personnes âgées ou démentes car elles suggèrent que la musique, en influençant les fonctions émotionnelles, physiologiques et végétatives de l'organisme, pourrait avoir des conséquences notoires – au moins à court terme – sur les aspects cognitifs et psychologiques. D'autres auteurs proposent même que ces modifications neurophysiologiques liées à l'écoute musicale puissent avoir des répercussions sur la plasticité anatomique et fonctionnelle du cerveau. Selon Fukui et Toyoshima (2008), la musique agirait au niveau cellulaire en favorisant la neurogénèse, la régénération et la réparation des neurones et circuits neuronaux via l'ajustement des sécrétions hormonales (comme le cortisol, la testostérone et l'œstrogène), qui sont par ailleurs reconnues comme jouant un rôle dans les processus de plasticité cérébrale.

### **3.2. La musique comme vecteur de plasticité cérébrale**

Les personnes musiciennes constituent une population idéale pour comprendre les phénomènes de plasticité liés à l'expertise musicale (pour des revues de littérature sur les modifications anatomiques et fonctionnelles issues de l'expertise musicale, voir Habib & Besson, 2008; Kraus & Chandrasekaran, 2010; Münte, Altenmüller, & Jäncke, 2002; Pantev & Herholz, 2011; Wan & Schlaug, 2010). La pratique musicale requiert la séquence et la simultanéité de plusieurs tâches : la lecture d'un code symbolique abstrait (la partition), la planification de l'activité motrice bimanuelle, l'intégration d'un feedback multimodal (auditif, proprioceptif, kinesthésique). Elle implique également une précision gestuelle et métrique. Elle met en jeu les processus de mémorisation, voire d'autres fonctions lors d'improvisation. Selon Habib et Besson (2008), la pratique musicale répétée modifierait l'organisation des aires corticales relatives à ces fonctions, et ce à 3 niveaux : (1) augmentant le nombre de neurones impliqués, (2) favorisant leur degré de synchronisation temporelle, et (3) augmentant le nombre et la force des connexions synaptiques excitatrices et inhibitrices.

Les effets de l'expertise musicale s'observent tout d'abord au niveau des structures cérébrales auditives. Par exemple, les gyri de Heschl des musiciens professionnels présentent bilatéralement un volume supérieur de 130 % comparativement aux sujets non musiciens (Schneider, Scherg, Dosch, Specht, Gutschalk et al., 2002). Le planum temporale gauche des musiciens est également plus développé, en particulier s'ils ont l'oreille absolue (Schlaug, Jäncke, Huang, & Steinmetz, 1995). La pratique musicale affecte aussi la manière dont sont traités les sons musicaux (Musacchia, Sams, Skoe, & Kraus, 2007; Pantev, Roberts, Schulz, Engelen, & Ross, 2001). D'une manière générale, les musiciens sont plus sensibles à la structure acoustique des sons musicaux, par exemple pour la discrimination de notes ou de changements subtils de contours mélodiques (par exemple, Bidelman, Krishnan, & Gandour, 2011 ; voir Besson, Schön, Moreno, Santos, & Magne, 2007, pour revue), y compris dans le vieillissement (Zendel & Alain, 2008). Ils répondent aussi à des violations de contour mélodique et de structures d'intervalles par des amplitudes plus grandes d'onde MMN (Mismatch Negativity, reflétant la détection involontaire d'éléments déviants ; Pantev, Ross, Fujioka, Trainor, Schulte et al., 2003).

L'activité sensori-motrice de la pratique musicale amène aussi à une réorganisation cérébrale. Les cartes corticales somesthésiques sont « façonnées » par l'instrument pratiqué. Les

deux derniers doigts de la main gauche des violonistes ou les lèvres des trompettistes sont représentées par une surface corticale plus importante que chez les non musiciens (Elbert, Pantev, Wienbruch, Rockstroh, & Taub, 1995; Pantev et al., 2003). La pratique musicale modifie également les régions motrices. Par exemple, le gyrus précentral des non musiciens montre généralement une asymétrie en faveur de l'hémisphère gauche ; cette asymétrie est réduite chez les musiciens (Amunts, Schlaug, Jäncke, Steinmetz, Schleicher et al., 1997).

Une étude montre également que la pratique musicale modifie la densité de la matière grise dans l'hippocampe, impliqué dans la mémoire à long terme déclarative (Groussard, La Joie, Rauchs, Landeau, Chételat et al., 2010). De plus, les musiciens recruteraient un réseau neuronal plus étendu que les non musiciens lors d'une tâche de mémoire sémantique musicale (reconnaissance de la familiarité de mélodies). Les auteurs proposent que ce patron d'activation reflète une modification fonctionnelle, avec différenciation dans les stratégies mnésiques induites par l'expertise musicale (voir aussi Herdener, Esposito, di Salle, Boller, Hilti et al., 2010).

La pratique musicale favoriserait également l'intégration des informations sensorielles multimodales (Gaser & Schlaug, 2003), ainsi que la communication entre les deux hémisphères cérébraux (corps calleux de taille plus importante chez les musiciens, Lee, Chen, & Schlaug, 2003). Ces observations suggèrent qu'en plus d'améliorer une fonction particulière, la pratique musicale peut maximiser leur coordination et communication.

Notons cependant que les études comparant les musiciens et non musiciens sont souvent des études transversales. De ce fait, les observations qui en sont tirées sont corrélationnelles, et ne permettent pas de conclure d'un effet direct de l'entraînement musical sur l'anatomie et le fonctionnement du cerveau. Ces différences pourraient être dues à des variables confondues (comme le niveau socioculturel et d'éducation, les activités de loisir), ou même être innées, et donc la cause – plutôt que la conséquence – de cette expertise (voir Kraus & Chandrasekaran, 2010). Des études longitudinales, comparant une population homogène et aléatoirement répartie en deux groupes équivalents suivant différentes conditions d'entraînement, sont donc indispensables pour aborder ces questions. De plus, elles permettent de montrer que bien que certaines études suggèrent que les différences neuroanatomiques et fonctionnelles observées entre les musiciens et les non musiciens semblent liées à la précocité et à la durée de la formation musicale (e. g., Watanabe, Savion-Lemieux, & Penhune, 2007), des effets de plasticité peuvent également être observés à court terme, chez l'enfant comme chez l'adulte.

Après 15 mois d'entraînement musical (une demi-heure de leçon de piano privée par semaine), des enfants non musiciens de 6 ans montrent des changements anatomiques dans les aires auditives et motrices, corrélés avec une amélioration de ces habiletés dirigées vers la musique (Hyde, Lerch, Norton, Forgeard, Winner et al., 2009 ; Voir aussi Fujioka, Ross, Kakigi, Pantev, & Trainor, 2006). Chez l'adulte, Herdener et collaborateurs (Herdener et al., 2010, expérience 2) ont testé l'effet de deux semestres d'entraînement auditif et musical chez des étudiants (exercices d'identification d'intervalles, d'accords, de patrons rythmiques, de timbres, entraînement à l'imagination de notes, etc.). Les résultats ont montré une augmentation de l'activité neuronale (réponse BOLD) dans l'hippocampe antérieur gauche en réaction à des sons déviants sur le plan temporel (c'est-à-dire à une violation de la régularité rythmique lors de la présentation de sons successifs). Cette même région montrait par ailleurs des différences fonctionnelles entre musiciens professionnels et non musiciens pour cette tâche (même étude, expérience 1). Ces observations suggèrent qu'un entraînement musical à moyen terme peut suffire pour engendrer des modifications du même type que celles observées chez les musiciens experts. Notons cependant que les sujets entraînés étaient déjà musiciens (étudiants en faculté de

musique) alors que ceux du groupe contrôle étaient non musiciens. Ceci peut avoir influencé les effets de l'entraînement, bien que les deux groupes ne présentaient pas de différence dans l'activité hippocampique en pré-test.

À plus petite échelle encore, deux semaines et demi d'entraînement de discrimination de fréquence (15 sessions à raison d'une par jour, 6 jours par semaine) ont suffi pour observer une augmentation de l'amplitude des potentiels évoqués auditifs N1c et P2 (en particulier dans l'hémisphère gauche pour la N1c, Bosnyak, Eaton, & Roberts, 2004 ; voir aussi Jäncke, Gaab, Wüstenberg, Scheich, & Heinze, 2001). Enfin, en supprimant la fréquence 1 kHz dans des pièces musicales écoutées 3 heures par jours pendant 3 jours, on observe déjà une diminution de réponse neuronale à cette fréquence (Pantev, Wollbrink, Roberts, Engelien, & Lütkenhöner, 1999). Ces dernières observations chez des sujets adultes montrent que le cerveau reste plastique y compris après maturation (voir Wan & Schlaug, 2010), ce qui est important à considérer dans le cadre de la stimulation ou remédiation cognitive chez l'adulte et la personne âgée.

La pratique musicale entraîne donc des modifications anatomiques et fonctionnelles d'un grand nombre de structures et réseaux neuronaux. L'activité musicale peut impliquer des structures corticales bilatérales des aires auditives, somato-sensorielles, motrices, visuelles et visuo-spatiales, et requiert également un large réseau fronto-pariétal et sous-cortical. Ainsi, si l'écoute et la pratique musicales influencent la réactivité et l'organisation de zones cérébrales qui ne sont pas spécifiques à l'activité musicale, on peut supposer qu'une activité musicale, en plus de développer les compétences dirigées vers la musique, va en même temps stimuler et faciliter d'autres compétences plus générales, dans des activités non musicales (Patel, 2010). Ces effets de transfert, essentiels dans l'optique d'utiliser la musique à des fins thérapeutiques, sont présentés dans la section suivante.

### **3.3. Effets de transfert à des compétences non musicales**

La musique est caractérisée par différents éléments tels que la hauteur fréquentielle (la mélodie), le rythme et la métrique, l'organisation syntaxique. Ces différentes caractéristiques du stimulus musical résonnent chacune avec une ou plusieurs compétences mentales générales (non spécifiques au traitement de la musique). Par exemple, le rythme est plus étroitement lié aux habiletés motrices, alors que le traitement de l'organisation syntaxique semble partager des ressources avec le traitement du langage. L'activité musicale – écoute et/ou pratique – est également fortement liée à différentes formes de mémoire (implicite, autobiographique, sémantique, verbale, procédurale). Les différentes caractéristiques musicales donnent au signal une valeur émotionnelle (valence et intensité, dynamique). Ainsi, la richesse de la structure des stimuli musicaux permet de stimuler un grand nombre de compétences mentales de manière simultanée, et donc d'améliorer potentiellement à la fois le fonctionnement de chacune, et leur coordination. Ces effets de transfert ont été grandement étudiés (pour revues, voir Besson, Chobert, & Marie, 2011; Hannon & Trainor, 2007; Moreno, Marques, Santos, Santos, Castro et al., 2009). Par exemple, l'expertise – ou même l'entraînement musical chez les non musiciens – entraîne de meilleures capacités générales de discrimination auditive (par exemple, le traitement de la voix humaine, Chartrand & Belin, 2006), une amélioration du fonctionnement exécutif (Moreno, Bialystok, Barac, Schellenberg, Cepeda et al., 2011), ou de meilleures performances de mémoire verbale (chez l'adulte comme chez l'enfant, Brandler & Rammsayer, 2003; Chan, Ho, & Cheung, 1998; Ho, Cheung, & Chan, 2003). Etant donné que le présent travail de thèse traite des effets de la musique sur la mémoire verbale et gestuelle, les sous-sections suivantes

développent plus particulièrement les liens entre la musique et le langage d'une part, et la motricité d'autre part (les liens plus spécifiques entre musique et mémoire seront abordés en chapitres 3 et 4).

### ***3.3.1. Langage***

Les stimuli linguistiques et musicaux partagent un certain nombre de caractéristiques. Tous deux sont fortement liés à la modalité auditive et présentent des composantes acoustiques et temporelles proches. Ce sont aussi des systèmes complexes organisés selon des règles hiérarchisées. On peut donc penser qu'ils peuvent être traités, au moins en partie, par des processus cérébraux similaires. Beaucoup d'études ont cherché à montrer les similarités et différences existant entre le traitement de la musique et celui du langage. Plusieurs cas de double dissociation ont été observés lors d'atteintes du langage (aphasie) et des habiletés musicales (amusie), suggérant un niveau d'indépendance entre ces deux compétences (pour des revues, voir Peretz, 2002, 2009). Pourtant, il a également été montré que le traitement de la musique et celui du langage partagent un certain nombre de ressources neuronales (Callan, Tsytsarev, Hanakawa, Callan, Katsuhara et al., 2006; Koelsch, 2005; Tillmann, Koelsch, Escoffier, Bigand, Lalitte et al., 2006 ; voir toutefois Rogalsky, Rong, Saberi, & Hickok, 2011, pour une position divergente). Plusieurs études montrent notamment un chevauchement des traitements syntaxiques (Maess, Koelsch, Gunter, & Friederici, 2001; Patel, 2003), avec des réponses très similaires en réaction à une incongruité de syntaxe dans les deux domaines (Patel, Gibson, Ratner, Besson, & Holcomb, 1998).

Ce partage de ressources neuroanatomiques et neurofonctionnelles entre musique et langage pourraient contribuer à expliquer les effets de transfert observés par exemple lors de l'amélioration de fonctions langagières suite à un entraînement musical. De nombreuses autres études se sont intéressées à la supériorité des musiciens dans la perception de changements fins dans des stimuli linguistiques. Il existe par exemple une corrélation entre l'expertise musicale et la perception de la prosodie du langage. Les musiciens détectent mieux des incongruités prosodiques fines (augmentation de la fréquence de 35 % en fin de phrase) dans une langue qui leur est étrangère (Marques, Moreno, Castro, & Besson, 2007). De même, lorsque des musiciens doivent comparer la prosodie de phrases à des mélodies présentées ensuite, ils obtiennent de meilleures performances que les non musiciens, que ce soit dans leur langue maternelle ou une langue étrangère (Thompson, Schellenger, & Husain, 2003). L'expertise musicale est aussi corrélée avec les habiletés d'apprentissage des langues tonales (où des variations de prosodie donnent des sens différents à un même mot, Lee & Hung, 2008; Marie, Delogu, Lampis, Belardinelli, & Besson, 2011; Wong, Skoe, Russo, Dees, & Kraus, 2007; Lee & Hung, 2008; Wong et al., 2007). Enfin, les musiciens détectent davantage que les non musiciens les modifications de hauteur permettant de discriminer les énoncés interrogatifs dans leur propre langue (Magne, Schön, & Besson, 2006). Les modifications de perception de la prosodie peuvent subvenir après une courte période : chez des enfants non musiciens de 8 ans, un entraînement musical de 6 mois permet déjà un traitement de la prosodie plus sensible (Moreno et al., 2009).

Les effets de l'entraînement musical sur le langage ne se cantonnent pas à ces aspects perceptifs et se retrouvent également dans des processus de plus haut niveau. Moreno et collaborateurs (2009) mettent en évidence une amélioration de la lecture de mots complexes après un entraînement musical de 6 mois chez des enfants non musiciens de 8 ans (voir aussi Butzlaff, 2000, pour une méta-analyse sur la corrélation entre les habiletés musicales et de

lecture chez l'enfant). Dans une étude menée chez des enfants de 4 et 5 ans (Anvari, Trainor, Woodside, & Levy, 2002), des relations étroites ont été trouvées entre les habiletés musicales et des épreuves de conscience phonologique, qui impliquent la possibilité de segmenter et manipuler les sons de la langue.

Ces effets ont été exploités dans le domaine de la réhabilitation des troubles du langage d'origine acquise ou développementale. Chez des enfants dyslexiques, des exercices musicaux (dont le chant) pratiqués pendant 15 semaines, ont permis d'améliorer les mesures de reproduction de structures rythmiques (*tapping*), de traitement auditif rapide et de conscience phonologique, domaines toujours identifiés comme déficitaires dans cette population (Overy, 2003 ; voir Habib & Besson, 2008, pour une discussion de l'utilisation de la musique pour la remédiation du langage chez l'enfant). Chez des patients aphasiques avec trouble de la fluence de la parole, la technique de la MIT (Melodic Intonation Therapy) se base sur l'utilisation du chant pour favoriser la production de phrases (Sparks & Holland, 1976). En particulier, le chant à l'unisson avec un modèle semble faciliter la production de phrases qui ne peuvent être parlées (Racette, Bard, & Peretz, 2006). Cette observation est discutée dans la section suivante sur la facilitation des actions motrices par la musique.

### **3.3.2. Motricité**

Depuis toujours et dans toutes les cultures, les humains dansent sur la musique. La musique a souvent été utilisée dans l'histoire pour favoriser la réalisation d'une activité physique (par exemple, le travail dans les champs de coton). De nombreux travaux soulignent depuis longtemps le fort lien entre musique et motricité (Driver, 1936; Gaston, 1951). Les neurosciences ont permis de mettre en évidence la relation entre les aires cérébrales relatives à l'audition et celles de la motricité (Chen, Zatorre, & Penhune, 2006). Par exemple, la simple écoute de séquences musicales active des régions cérébrales motrices (Brown & Martinez, 2007b; Zatorre, Chen, & Penhune, 2007), et la pratique musicale les modifie, y compris à très court terme (Pantev, 2011). Les liens entre musique et motricité sont également bien documentés chez les sujets non musiciens. Nietzsche disait déjà "We listen to music with our muscles" (cité dans Sacks, 2006, pp.2528). En effet, certains extraits musicaux favorisent la tonicité du corps et l'amélioration spontanée de la posture (Forti, Filipponi, Di Berardino, Barozzi, & Cesarani, 2010).

De nombreuses études se sont intéressées à la composante rythmique, et la capacité de synchronisation avec une stimulation musicale. Suivre un rythme est une habileté très robuste d'un individu à l'autre (Patel, Iversen, Chen, & Repp, 2005) et peu de cas de personnes arhythmiques ont été reportés (Overy & Turner, 2009 ; voir Phillips-Silver, Toiviainen, Gosselin, Piché, Nozaradan et al., 2011, pour une étude de cas). Les mécanismes de coordination et de maintien en phase avec le tempo sont particulièrement précis, comme le montrent les études réalisées avec le paradigme de *tapping* (i. e., taper du doigt en rythme avec une stimulation auditive régulière ; voir par exemple Drake, Penel, & Bigand, 2000). Ce processus de synchronisation est lié de manière plus robuste à la modalité auditive plutôt que visuelle (Patel et al., 2005; Repp & Penel, 2004). De plus, les facteurs mélodiques – et pas seulement d'ordre temporel – influencent également la perception de la métrique (Hannon, Snyder, Eerola, & Krumhansl, 2004), ce qui suggère que la musique (et pas seulement une stimulation auditive non musicale) est une stimulation privilégiée pour la synchronisation auditivo-motrice. De manière intéressante, Styns et collègues (Styns, Van Noorden, Moelants, & Leman, 2007) ont étudié

l'effet de la musique sur la marche et montré qu'à cadence égale, les participants font des pas plus grands quand ils synchronisent leur démarche avec une stimulation musicale, plutôt qu'avec un rythme seul joué par un métronome.

La danse est un exemple écologique de synchronisation du corps avec une source musicale. L'étude de Brown et collègues (Brown, Martinez, & Parsons, 2006) met en évidence un réseau de connexions cérébrales entre les mécanismes auditifs, temporels (rythme et synchronisation), spatiaux, et la coordination motrice du corps. À un plus bas niveau, le corps se synchronise de manière automatique avec un son régulier (Molinari, Leggio, De Martin, Cerasa, & Thaut, 2003), jusqu'à, par exemple, synchroniser sa respiration à un rythme musical (Haas, Distenfeld, & Axen, 1986).

L'entraînement moteur musical peut également montrer des effets de transfert en améliorant les performances motrices générales (i. e., non dirigées vers la musique). Par exemple, les musiciens imitent des gestes donnés avec plus de justesse et de finesse que les non musiciens (Spilka, Steele, & Penhune, 2010). Jäncke et collègues (Jäncke, Schlaug, & Steinmetz, 1997) ont montré que les musiciens (pianistes) droitiers, démontraient une asymétrie bimanuelle (mesurée avec un questionnaire de latéralité manuelle) moins importante que les non musiciens droitiers, du fait de l'entraînement de leur main gauche dans leur pratique musicale. L'étude montre aussi que les pianistes ont de meilleures performances que les musiciens d'instruments à cordes dans une tâche de *tapping*, suggérant là encore un effet spécifique de l'entraînement.

Les effets de transfert de l'entraînement musical sur les performances motrices ont également été démontrés dans des études de réhabilitation des troubles sensori-moteurs. Dans deux études menées successivement (Altenmüller, Marco-Pallares, Münte, & Schneider, 2009; Schneider, Schönle, Altenmüller, & Münte, 2007), des patients victimes d'un accident vasculaire cérébral, non musiciens, ont appris à jouer des gammes et des mélodies simples sur un piano et/ou sur différents éléments d'une batterie électronique reproduisant les notes de la gamme. Après 3 semaines (15 séances), les patients entraînés sont plus rapides, plus précis et ont des gestes plus continus que ceux qui n'ont pas suivi cet entraînement (thérapie traditionnelle seulement) ; ils rapportent également moins de problèmes moteurs dans leur vie quotidienne. De plus, ces effets d'amélioration de performances semblent liés à des modifications de patrons EEG dans le cortex moteur (Altenmüller et al., 2009). Toutefois, il est difficile de conclure que les progrès manifestés par les patients sont directement imputables à l'utilisation de la musique plutôt qu'aux effets d'une pratique motrice bimanuelle, qui s'oppose à l'approche traditionnelle d'immobilisation du membre valide. De plus, les participants du groupe expérimental ont plus d'entraînement que ceux du groupe contrôle. Les futures études devront donc comparer l'apport de la musique dans la remédiation des troubles sensori-moteurs avec d'autres stratégies, comme par exemple l'utilisation de jeux vidéos ou autres entraînements ludiques requérant la même motricité digitale fine et bimanuelle, et à quantité d'entraînement égales.

D'autres études utilisent plus spécifiquement la synchronisation auditivo-motrice pour faciliter la production du mouvements dans les troubles sensorimoteurs comme dans la maladie de Parkinson (voir Lim, Van Wegen, De Goede, Deutekom, Nieuwboer et al., 2005, pour revue). La vitesse et la cadence de la démarche, ainsi que la longueur des pas effectués, sont améliorées par l'utilisation d'un indicage auditif régulier lors de la marche (Thaut, McIntosh, Rice, Miller, Rathbun et al., 1996). L'étude de Satoh et Kuzuhara (2008) montre de la même manière que la marche des patients Parkinsoniens s'améliore lorsque les sujets ont été entraînés à chanter mentalement en se déplaçant. La thérapie musicale permettrait aussi un meilleur contrôle des mouvements bucco-faciaux utilisés pour la parole (Thaut, McIntosh, McIntosh, & Hoemberg,

2001). De la même manière, le chant produit à l'unisson améliore la répétition de phrases chez des patients aphasiques (Racette et al., 2006). Outre le plaisir des patients à chanter, synchroniser sa production avec un modèle stable peut favoriser l'automatisme de la production, par l'intermédiaire d'une boucle auditivo-motrice (Warren, Wise, & Warren, 2005). Une autre hypothèse explicative concernerait l'activation de neurones miroirs (Iacoboni, Woods, Brass, Bekkering, Mazziotta et al., 1999; Rizzolatti & Arbib, 1998), impliqués dans la perception et la compréhension d'actions motrices et mis en évidence dans des activités musicales (par exemple, Lahav, Saltzman, & Schlaug, 2007). Cependant, l'étude de Racette et Peretz (2006) ne montre un effet facilitateur de la production à l'unisson que pour le chant (et non pour la parole). Ce résultat peut être expliqué par le fait qu'un plus grand nombre d'indices de synchronisation sont disponibles dans la version musicale comparativement à la version discursive.

Peu d'études évaluant l'effet de la musique sur la motricité ont été menées dans le vieillissement. Rappelons cependant que l'écoute musicale est utilisée pour lutter contre l'apathie et stimuler l'activité motrice chez les patients dans des stades avancés de démence (Cevasco & Grant, 2003; Holmes et al., 2006, voir section précédente).

#### **4. Résumé et perspectives**

Bien que parfois lacunaires sur le plan méthodologique, les études qui ont testé le potentiel de la musique comme instrument de stimulation et de thérapie sont nombreuses. Deux grands types d'intervention peuvent être distingués. D'un côté, les approches de type musicothérapie utilisent principalement la musique pour ses effets généraux sur l'humeur, le comportement, la communication, et ont pour objectif d'améliorer par ce biais le bien-être, ou l'état général d'éveil – et donc parfois indirectement le fonctionnement cognitif global, des sujets jeunes, âgés, et dans les populations cliniques. Ces approches sont essentielles en particulier dans un contexte où la musique est parfois un des seuls moyens pour établir un contact avec les personnes, comme dans des cas de démence avancée ou dans les troubles envahissants du développement. D'un autre côté, certaines approches plus ancrées dans un cadre théorique neuroscientifique et cognitif visent à exploiter les liens spécifiques entre la musique et une fonction ciblée altérée. Par la richesse de la composition du stimulus musical et la distribution de son traitement, l'activité musicale stimule – et modifie – un grand nombre de régions cérébrales (voir Altenmüller, 2001, pour une discussion de cette question). Des liens particuliers ont notamment été observés entre l'activité musicale et les activités langagières et motrices. Des effets d'interférence sont par exemple observés entre ces domaines. De plus, un entraînement musical (expertise chez les musiciens ou même à plus court terme chez les non musiciens et les enfants) peut entraîner un transfert de bénéfices avec amélioration de performances dans des activités pourtant non dirigées vers la musique. Des effets similaires ont été observés auprès des populations cliniques lorsque ces fonctions sont altérées.

D'importants enjeux s'ouvrent notamment pour la prévention du déclin cognitif lié au vieillissement ou des symptômes de démence. On sait que des phénomènes de plasticité cérébrale et mécanismes compensatoires sont mis en place de façon spontanée – ou via un entraînement cognitif – dans le vieillissement normal (Cabeza, 2002; Logan, Sanders, Snyder, Morris, & Buckner, 2002). Ces mécanismes semblent déterminants pour retarder l'expression clinique des dysfonctionnements neurobiologiques de la démence (par exemple, Peters, Collette, Degueldre, Sterpenich, Majerus et al., 2009). Il a également été montré récemment que ces phénomènes de plasticité peuvent être modulés par l'entraînement cognitif, y compris en stade

pré-clinique de démence (Belleville et al., 2011). La musique entraînant – y compris à court terme – des phénomènes de plasticité dans un grand nombre de structures cérébrales, elle représente un matériel privilégié pour la stimulation cognitive dans le vieillissement normal et pathologique.

La musique influence également la neurophysiologie et modifie les sécrétions hormonales. Or, des résultats positifs sont observés chez des patients atteints de stade léger de MA en réaction à des traitements médicamenteux hormonaux. Il serait donc intéressant de déterminer si l'on peut obtenir des effets similaires avec une méthode non invasive telle que l'écoute musicale (Fukui & Toyoshima, 2008). Enfin la dimension sociale de la musique joue probablement un rôle important dans la motivation des personnes à participer aux activités, et peut aider à lutter contre l'isolement chez les personnes âgées.

Le rôle particulier de la musique dans les effets décrits peut être questionné. Par exemple, l'effet de stimulation et d'éveil peut être retrouvé – et montrer des effets similaires sur la cognition – avec des récits (voir l'étude de Nantais & Schellenberg, 1999, utilisant des livres de Stephen King dans cet optique). De la même manière, un effet de la musique sur une fonction cible peut également être dû à une composante qui n'est pas spécifique à la musique (et pourrait se retrouver dans d'autres matériels). Par exemple, dans la stimulation de la motricité, l'utilisation du métronome suffit pour l'observation de progrès de la marche chez les patients Parkinsoniens ; l'essentiel de cette stratégie réside donc dans la mise en place d'une régularité auditive, et pas nécessairement musicale. Dans un autre registre, d'autres types d'activité pourraient favoriser la communication sociale et interindividuelle (par exemple, la pratique d'un sport d'équipe). Il se trouve néanmoins que la musique est une des stimulations qui incarne le mieux l'expression rythmique auditive, et est l'une des activités qui réunit et favorise souvent le partage interindividuel. Si les mêmes effets peuvent être observés avec d'autres matériels présentant chacun des caractéristiques communes avec la musique, elle reste la mieux placée pour combiner un grand nombre d'avantages démontrés comme utiles dans diverses situations de stimulation ou thérapie. Ces stratégies d'interventions musicales sont d'autant plus prometteuses qu'elles sont non invasives, peu coûteuses, donc faciles à mettre en place en clinique ou à domicile, et accessibles à tous, y compris sans formation musicale préalable. Elles présupposent cependant que les habiletés musicales soient préservées malgré le déclin cognitif lié au vieillissement et à la démence. Le chapitre suivant discute cette question en faisant état des capacités en perception et en mémoire musicales dans la population âgée et MA.



---

# Chapitre 3 : Habilités Musicales dans le Vieillessement et la MA

---

Il est assez traditionnel de penser que les habilités dirigées vers la musique sont particulièrement résistantes aux symptômes du vieillissement cognitif et de la démence. Cependant, les études scientifiques qui ont traité de cette question mènent à des conclusions parfois mitigées. Ce chapitre présente l'état de la littérature concernant la perception de la musique (première partie) et la mémoire musicale (deuxième partie) chez les personnes âgées saines et atteintes de la maladie d'Alzheimer. L'éventuelle préservation des habilités musicales est discutée selon deux axes. D'une part, ces habilités musicales sont comparées à celles des sujets jeunes (pour les personnes âgées saines) et âgés en santé (pour les personnes MA) afin d'évaluer leur déclin objectif dû à l'âge et la démence. D'autre part, ces habilités sont comparées, au sein d'une même population, avec les habilités non musicales, notamment la mémoire verbale et visuelle, afin d'évaluer leur déclin relatif par rapport aux autres fonctions cognitives.

## 1. Perception

### 1.1. Perception auditivo-musicale

La perception de la musique requiert à la fois des capacités de discrimination acoustique et la connaissance (implicite) des règles de construction de la musique tonale ; les deux sont souvent impliquées dans les mesures effectuées dans les études suivantes, qui ont évalué l'influence de l'âge sur ces composantes.

D'après l'évaluation en ligne de l'amusie (*Montreal Battery of Evaluation of Amusia*, Peretz, Gosselin, Tillmann, Cuddy, Gagnon et al., 2008), 223 personnes de 14 à 84 ans identifiées comme non amusiques (i.e., sans trouble spécifique de la perception musicale) ont été séparées en deux groupes de plus ou moins de 40 ans. Une analyse des scores basée sur cette distinction a montré que les plus âgés étaient moins bons aux tâches de discrimination mélodique et rythmique. Cependant, ils montraient aussi moins d'expertise musicale en moyenne, ce qui était par ailleurs corrélé aux performances.

Dowling et collaborateurs (Dowling, Bartlett, Halpern, & Andrews, 2008) ont comparé 3 rangs d'âge (18-30 ans, 31-59 ans, et plus de 60 ans) et 3 niveaux d'expertise musicale dans une tâche de détection d'altération dans des mélodies familières et non familières. Les participants entendaient deux mélodies (séparées par un silence de 5 secondes), qui pouvaient être similaires ou contenir une modification de notes (deux notes différaient dans ce cas). La tâche était de juger si les deux mélodies étaient identiques ou différentes. Les performances étaient globalement meilleures pour les mélodies familières, et fortement corrélées au niveau d'expertise. Elles déclinaient légèrement avec l'âge (pour les mélodies familières et non familières). Les auteurs

proposent que ce déficit serait attribuable au déclin lié à l'âge de la mémoire de travail, requise dans cette tâche, plus qu'à une altération de discrimination musicale.

Halpern et collaborateurs (Halpern, Kwak, Bartlett, & Dowling, 1996) confirment la plus grande influence de l'expertise plutôt que de l'âge pour les habiletés de perception musicale. Dans une tâche de représentation de la hiérarchie tonale dans la musique occidentale, menée chez deux groupes de sujets (jeunes : 15 à 22 ans ; âgés : 60 à 80 ans), on retrouve un effet d'expertise sans effet de l'âge. Les connaissances du système tonal semblent maintenues dans le vieillissement, et deviennent même plus élaborées chez les musiciens (les musiciens âgés étaient plus aptes que les musiciens jeunes à utiliser la proximité tonale).

Des déficits liés à l'âge sont apparus cependant dans une tâche de reconnaissance de mélodies transposées (Halpern, Bartlett, & Dowling, 1995). Dans cette étude, on note à nouveau un effet positif de l'expertise musicale, mais qui interagit peu avec l'âge : l'effet de l'âge n'est pas nettement réduit chez les musiciens. Cela peut suggérer que ces déficits reflèteraient d'avantage une altération des processus de traitement généraux (et non spécifique à la musique) ; en particulier, la tâche requiert une forte composante de mémoire de travail, souvent fragilisée dans le vieillissement (voir aussi Halpern & Bartlett, 2002, pour une revue).

Dans la démence, le patron de préservation / altération des aptitudes perceptives pour la musique semble suivre le profil de performance des compétences non musicales. En comparant à des contrôles 3 groupes de patients atteints de MA, démence sémantique et démence fronto-temporale, Johnson et collègues (2011) ont montré que les patients MA présentaient des aptitudes comparables à celles des contrôles pour les tâches de discrimination de notes et de mélodies, et pour la détection de distorsions dans des mélodies familières (alors que les patients avec démence sémantique avaient un score inférieur dans cette dernière tâche). Une étude de cas d'une patiente MA de 84 ans en stade sévère de maladie (MMS : 8/30 ; Cuddy & Duffin, 2005) a confirmé la capacité à discriminer les distorsions dans des mélodies familières. Par contre, dans une étude de groupe menée chez 12 patients (MA modérée à sévère), cette habileté semble variable selon les individus, qu'elle soit testée avec des mélodies familières ou non familières (Vanstone & Cuddy, 2010).

Enfin, chez un patient musicologue et musicien de 67 ans en stade léger de MA (MMS : 24/30), les capacités étaient préservées dans les sous-tests de la MBEA (Peretz, Champod, & Hyde, 2003) d'échelle, contour et rythme, mais on observait un déficit pour la discrimination d'intervalles, ainsi qu'un déficit léger dans la discrimination de timbres instrumentaux (Omar, Hailstone, Warren, Crutch, & Warren, 2010).

En résumé, la perception musicale semble préservée dans le vieillissement, et relativement préservée dans la démence, où elle semble plus fragile selon les individus et le type de tâche. Notons que ces déficits peuvent parfois refléter un trouble plus général de traitement ou de mémoire de travail, souvent impliqués dans les tâches proposées.

## **1.2. Perception des émotions musicales**

Une composante importante dans la cognition musicale est la perception des émotions. Peu d'études l'ont testé dans le vieillissement. Dans l'étude de Lima et Castro (2011), 114 adultes de 17 à 84 ans devaient effectuer des jugements d'émotions sur des extraits musicaux évoquant la joie, la tristesse, la tranquillité et la peur. Les performances étaient, là encore, corrélées à l'expertise musicale. Mais, alors que le jugement des émotions positives reste stable avec l'âge, il semble que la reconnaissance soit légèrement altérée pour les émotions négatives (tristesse et

peur). Ce résultat est en accord avec les données de la littérature sur matériel non musical (comme les visages), montrant une meilleure reconnaissance des émotions positives (« biais de positivité »), et un déficit pour la peur ou la tristesse (Ruffman, Henry, Livingstone, & Phillips, 2008, pour revue).

Dans le vieillissement pathologique, alors que la reconnaissance des émotions musicales semble altérée dans la démence sémantique (de manière cohérente avec les difficultés observées chez ces patients dans le domaine non musical), les performances des participants atteints de MA semblent quant à elles globalement équivalentes à celle des personnes âgées saines (Omar et al., 2010). Drapeau et collègues (Drapeau, Gosselin, Gagnon, Peretz, & Lorrain, 2009) ont comparé la reconnaissance d'émotions véhiculées dans des visages, par la voix (variations de prosodie), ou dans des extraits musicaux, chez 7 participants atteints d'un stade léger de MA (MMS moyen : 23.3/30) et 16 contrôles appariés. Seule la performance effectuée sur les visages était altérée chez les patients comparativement aux contrôles (en particulier pour les émotions négatives). La reconnaissance de tristesse et joie était également préservée dans un groupe de 12 participants en stade léger de MA (MMS moyen 23.1/30), les patients se montrant capables d'utiliser les indices de mode et de tempo pour effectuer ce jugement (Gagnon, Peretz, & Fülöp, 2009). Les mêmes résultats sont observés chez des patients MA en stade modéré à sévère de démence (MMS entre 7 et 15 ; Samson, Dellacherie, & Platel, 2009). De manière plus anecdotique, l'étude montre aussi que les extraits joyeux sont accompagnés de comportements plus réactifs (chantonner, taper des mains ou du pied en rythme). Enfin, Norberg et collaborateurs (Norberg et al., 2003) ont montré que 2 patients sur 3 en stade avancé de démence réagissaient davantage (mouvements de la tête et du visage, pulsation cardiaque et vitesse de respiration) à des stimulations musicales plutôt que tactiles et visuelles. Ce résultat n'est pas directement interprétable en termes de reconnaissance d'émotion, mais suggère que la musique continue à véhiculer un message significatif – plus que d'autres types de stimuli – chez des personnes avec qui la communication semblait perdue.

En résumé, la reconnaissance des émotions musicales semble préservée dans le vieillissement et la démence, avec une tendance (non spécifique au matériel musical) à mieux identifier les émotions positives que négatives.

## **2. Mémoire(s)**

Malgré l'importance de la musique dans le quotidien de toutes les cultures, la mémoire musicale a été peu étudiée comparativement aux formes de mémoire visuelle et verbale (Schulkind, 2009). Les études portant sur la mémoire musicale dans le vieillissement et la démence s'intéressent principalement à deux facteurs : tester la préservation de la mémoire musicale malgré l'âge ou la démence, et la comparer à la mémorisation d'autre matériel (non musical). Différents patrons de préservation / altération ressortent, dépendamment des différentes formes de mémoire testées. La première sous-section aborde rapidement les études impliquant la mémoire à court terme (MCT). Les compétences en mémoire à long terme (MLT) seront ensuite davantage développées : la reconnaissance de matériel musical familier et ses liens avec la mémoire autobiographique, l'encodage épisodique de matériel musical familier et non familier, la formation de nouvelles connaissances musicales, et enfin la mémoire procédurale.

## **2.1. Mémoire à court terme**

Certaines études ont proposé l'existence d'une boucle tonale, composante de stockage à court terme qui serait spécialement dédiée à la hauteur musicale (Berz, 1995 ; Marin & Perry, 1999). Par ailleurs, des travaux en neuroimagerie ont montré une spécificité neuronale pour la MCT musicale, impliquant le cortex auditif droit (Zatorre & Samson, 1991 ; Zatorre et al, 1994) et les régions frontales (Zatorre et al, 1994).

La MCT est impliquée dans un grand nombre de tâches musicales décrites ci-dessus, mais elles ne sont pas spécifiquement conçues pour la tester. Ménard et Belleville (2009) ont créé dans ce but une tâche de comparaison de séquences de notes, avec des stimuli acoustiquement très différents (et donc facilement discriminables perceptivement) : deux notes (Do4 et Do5) étaient organisées pseudo-aléatoirement pour former des séquences de deux à huit items. Parallèlement, une tâche équivalente avec des stimuli linguistiques permettait de comparer les performances en MCT musicale et verbale : deux syllabes (« Ran » et « Bij ») formaient des mots sans signification de deux à huit items. Seize participants MA (MMS moyen : 24.3/30) et 16 contrôles appariés ont été testés. Les résultats montrent un déficit pour le groupe de participants MA comparativement aux contrôles, avec le même degré d'altération pour le matériel musical et verbal (et une corrélation significative des performances entre les deux types de matériel). Précédemment, White et Murphy (1998) ont montré les mêmes résultats chez des patients MA en stade léger et très léger, avec une progression du déficit avec l'avancement de la maladie. Notons cependant que ces études relèvent plutôt du domaine auditif général (non verbal) que spécifiquement musical. De plus, l'absence de groupe contrôle de jeunes adultes ne permet pas de tirer de conclusion dans le vieillissement normal.

Dans une tâche plus mélodique (identifier un changement de note dans une mélodie), Kurylo et collègues (1993) ont mis en évidence un déclin dans les performances des personnes âgées saines comparativement à celles de jeunes adultes. Par contre, ils ne mettent pas en évidence de différence entre patients MA (en stade léger à modéré) et contrôles appariés. Il se peut que ces différences soient dues au fait que la tâche est plus facile que celle de Ménard et Belleville (5 notes maximum par séquence). Il est probable aussi que des mélodies tonales donnent plus d'indices pour l'encodage des notes, et permettent aux participants de s'appuyer sur leurs connaissances implicites musicales pour détecter les changements de notes, et de compenser ainsi les difficultés en MCT.

La fragilité de la MCT auditivo-musicale observée dans le vieillissement normal – et parfois davantage encore dans la démence – est globalement cohérente avec les études menées dans le domaine non musical (Adam & Collette, 2007; Hester, Kinsella, & Ong, 2004). Peu d'études comparent directement la MCT verbale et musicale, et le fait que les deux soient altérées de manière corrélée dans l'étude de Ménard et Belleville ne prouve pas encore qu'un seul système en soit responsable. Pour autant, aucune donnée ne permet de penser que la MCT musicale serait spéciale dans le vieillissement et la MA.

## **2.2. Connaissance de matériel musical familier : mémoires sémantique et autobiographique**

D'après Schulkind et collaborateurs, la reconnaissance d'une mélodie encodée en MLT est basée sur une perception holistique, et toutes ses composantes jouent un rôle dans cette reconnaissance, en particulier les composantes rythmiques (Jones & Yee, 1993; Schulkind,

Posner, & Rubin, 2003). Une modification de la métrique, du contour rythmique, ou des patrons de durées successives des notes suffit à en diminuer la reconnaissance (Hébert & Peretz, 1997; Schulkind, 2009). Peretz et collaborateurs proposent l'existence d'un lexique musical, un répertoire où seraient stockées toutes les mélodies entendues et mémorisées, et dont l'accès serait indépendant du lexique verbal (bien que des relations privilégiées existent entre les deux ; Peretz & Coltheart, 2003; Peretz, Gosselin, Belin, Zatorre, Plailly et al., 2009). Dans ce travail, nous parlerons plus généralement de *connaissances musicales*, stockées en mémoire sémantique (définie par les choses que l'on *connait*, en opposition à ce dont on se *souvient*, soutenu par la mémoire épisodique).

Tout comme les stimuli verbaux et visuels, les substrats neuronaux qui sous-tendent la mémoire sémantique musicale semblent distincts de ceux impliqués dans la mémoire épisodique musicale (Groussard, Viader, Landeau, Desgranges, Eustache et al., 2009; Platel, 2005; Platel, Baron, Desgranges, Bernard, & Eustache, 2003). Au sein de la mémoire sémantique, l'étude comparative de la mémoire musicale et verbale de Groussard et collaborateurs (Groussard, Viader, Hubert, Landeau, Abbas et al., 2010), montre à la fois des processus communs et spécifiques à chaque matériel. Davantage d'études comportementales ont cherché à tester la spécificité de la mémoire musicale.

Au 19<sup>ème</sup> siècle, Ebbinghaus (1885 / 1913) proposait que la plupart des stimuli ne peuvent être rappelés après de longs intervalles de rétention sans que les personnes aient eu l'occasion d'y être exposées à nouveau de manière fréquente, ou au moins occasionnelle. Or, des personnes âgées se disent familières avec la majorité des chansons populaires de leur jeunesse, peuvent souvent en donner la décade de popularité, et parfois en chanter les paroles, bien qu'elles aient eu apparemment peu d'expositions à ces chansons depuis (Bartlett & Snelus, 1980). Schulkind et collaborateurs (Schulkind, Hennis, & Rubin, 1999) ont testé différents aspects de la mémoire musicale de chansons populaires du 20<sup>ème</sup> siècle (1935 à 1995) auprès de participants jeunes et âgés. Les participants devaient nommer le titre, l'artiste et l'année de popularité pour chaque extrait, et en rappeler les paroles après un indiçage. Ils donnaient également un jugement d'émotion et de préférence. Les résultats montrent tout d'abord que les personnes âgées ont plus de connaissances sur les chansons plus anciennes comparativement aux modernes, et inversement pour les sujets jeunes ; en d'autres termes, chacun mémorise d'avantage les chansons correspondant à l'épisode de vie de sa jeunesse. Les jeunes sont meilleurs que les âgés pour identifier ces chansons de leur jeunesse, ce qui témoigne d'une forme d'oubli avec le temps. Cependant, ce taux d'oubli est relativement faible (environ 20 %). De plus, les performances ne sont pas majoritairement expliquées par l'oubli lié au temps, étant donné que chez les personnes âgées les chansons anciennes sont mieux reconnues que les récentes. On pourrait suggérer aussi que les chansons les plus anciennes ont été entendues plus de fois que les plus récentes au cours de la vie ; de même, les circonstances de vie quotidienne des personnes âgées impliquent probablement qu'elles soient moins exposées que les jeunes aux chansons modernes. Enfin, l'évolution de la technique a modifié l'accès à la musique (entre les jeunes d'hier et ceux d'aujourd'hui). Ces variables rendent la comparaison directe de la mémoire musicale entre les jeunes et âgés très délicate. Une critique qui peut être adressée à l'étude de Schulkind et collaborateurs (1999) est que les mesures effectuées reflètent davantage les connaissances associées à la mémoire de l'extrait, plutôt que la mémoire de ces extraits en tant que telle. Or, pour beaucoup de chansons, on ne connaît pas le titre ni artiste, ni même les paroles (d'autant plus si elles sont écrites dans une langue étrangère), mais on peut néanmoins connaître ces chansons, c'est à dire éprouver un fort sentiment de familiarité et être capable d'en chanter toute

la mélodie. L'étude rapporte dans ce sens que les personnes âgées se disent familières avec 70 % des chansons des années 40 et 50. Cependant, la fiabilité de réponses des sujets à cette question devrait être testée en ajoutant des extraits non familiers à la liste.

Dans le domaine non musical, une étude de Bahrick et collaborateurs (Bahrick, Bahrick, & Wittlinger, 1975) a montré, avec une tâche de reconnaissance de camarades d'école d'après des photos de classes, un patron équivalent de celui de l'étude de Schulkind pour la dégradation des performances avec l'âge et en fonction du temps (lorsque les sujets devaient évoquer les noms des personnes en rappel libre). Cette comparaison suggère des processus similaires pour le traitement de ces différents stimuli. Cependant, on ne peut comparer quantitativement ces deux types de souvenirs, notamment parce qu'il est difficile de contrôler le nombre d'expositions aux différents matériels durant la vie. Schulkind (2009) propose que les paroles d'anciennes chansons pourraient être bien mémorisées pour la simple raison que les personnes apprécient de les écouter et/ou chanter, et qu'elles sont probablement exposées à ces chansons au cours de la vie lors de plus d'occasions qu'on le pense intuitivement. Ainsi, si la mémoire musicale est bien préservée avec le temps, cela pourrait peut-être résider dans le simple fait que la musique est une activité appréciée, et que l'on entretient peut-être plus souvent nos connaissances musicales que d'autres types de matériels appris de longue date (comme par exemple des prières).

L'étude de Schulkind et collaborateurs (1999) pose la question du lien entre les émotions et la mémoire musicale. Les personnes âgées jugent les chansons de leur jeunesse comme plus chargées émotionnellement que les chansons plus modernes, et ces jugements sont corrélés à leurs performances de mémoire ; alors que cette corrélation chez les jeunes est moindre (qui ne présentent pas par ailleurs d'effet plafond en performance de mémoire ; ni de différence avec les plus âgés dans le jugement émotionnel effectué sur les chansons de leur jeunesse). En d'autres termes, bien que les plus âgés montrent globalement une moins bonne mémoire que les jeunes, leurs scores sont davantage corrélés à leurs jugements émotionnels. Ces données sont cohérentes avec les théories proposant une facilitation de la mémoire pour des stimuli à contenu émotionnels (développées davantage en section 2.4 de ce chapitre). Les auteurs proposent que cet effet émotionnel serait plus fort après de longues périodes de rétention, comme le suggèrent certaines études dans le domaine non musical (voir par exemple Sharot & Yonelinas, 2008, pour la mémorisation d'images, ou Christianson, 1992, pour la mémorisation d'événements). Une autre interprétation possible est que le simple fait de se remémorer les chansons procure des sensations agréables aux personnes âgées, souvent soucieuses de leurs performances mnésiques. On peut alors se demander si l'émotion entraîne la mémorisation ou si la remémoration influence le jugement émotionnel. Les deux aspects sont probablement à l'œuvre, se renforçant l'un l'autre. Il a aussi souvent été montré que connaître des extraits (même implicitement, voir section 2.4 de ce chapitre) en renforce le sentiment de préférence (e. g., Gaudreau & Peretz, 1999), ce qui souligne les forts liens de la triangulaire musique-émotion-mémoire.

Contrairement à la croyance populaire du pouvoir de la musique comme évocateur de souvenirs (Sacks, 2006), l'étude de Schulkind et collaborateurs (1999) montre que les stimuli musicaux ne déclenchent des souvenirs épisodiques que dans moins de 10 % des cas. Cependant, les participants étaient simplement invités à rapporter les éventuels souvenirs qui émaneraient à l'écoute des extraits, en plus des autres tâches mentionnées ci-dessus, mais on ne leur demandait pas spécifiquement de se concentrer sur cette tâche. Dans l'étude de Janata et collaborateurs (Janata, Tomic, & Rakowski, 2007) les souvenirs autobiographiques évoqués par la musique à l'écoute sont testés avec un large corpus de musique populaire : 30 % des chansons évoquent des souvenirs aux participants, à un niveau spécifique (parfois) ou plus général (le plus souvent).

En résumé, il est difficile de comparer la mémoire sémantique et autobiographique musicale avec d'autres formes de matériel connus de longue date, et les données actuelles ne permettent pas de défendre fermement l'idée que la mémoire musicale serait plus robuste. Si elle l'était, il se pourrait que ce soit dû à sa composante émotionnelle, qui favorise l'activité musicale d'une part (donc renforce les traces mnésiques), et appuie la consolidation en mémoire à travers le temps.

Dans la MA, plusieurs travaux ont cherché à déterminer dans quelle mesure la mémoire musicale pour les musiques familières était préservée en fonction des différents stades d'avancement dans la maladie. Les résultats divergent en fonction de la tâche proposée.

Plusieurs études ont testé la discrimination de la familiarité d'un extrait, avec une tâche de reconnaissance de mélodies très familières, comme des comptines (ex « frère Jacques », en version instrumentale seulement), versus des mélodies inventées. Samson et collègues (Samson, Baird, Moussard, & Clément, sous presse) ont montré des habiletés préservées dans un groupe de 17 patients atteints de la MA en stade léger à modéré (MMS moyen : 17.7/30), comparativement à 17 contrôles appariés en âge. Cuddy et Duffin (2005) ont les mêmes résultats avec une patiente de 84 ans en stade sévère (MMS : 8/30). Par contre, ces performances se trouvent légèrement altérées dans un groupe de 15 patients en stade modéré (MMS : 19.9/30 ; Bartlett, Halpern, & Dowling, 1995). Les connaissances musicales semblent donc peu altérées par la maladie. Les différences observées entre ces études peuvent venir de la méthodologie utilisée : il est possible qu'une tâche de décision de familiarité soit ardue pour les patients en stade modéré à sévère compte tenu de leurs difficultés potentielles en attention ou en compréhension verbale (accès aux consignes). Dans l'étude de Cuddy et Duffin (2005), les performances sont cotées selon une grille d'observation des comportements des participants à l'écoute des extraits, ce qui allège considérablement la tâche cognitive à effectuer par les patients.

De manière relativement convergente, les études qui ont testé la dénomination d'extraits (en donner le titre) ont montré des performances inférieures à celles des contrôles, dès le stade léger et confirmé en stade modéré (Bartlett et al., 1995; Johnson et al., 2011; Omar et al., 2010). Cependant, ce déficit apparaît comme moins important que dans la démence sémantique (où le patient ne nomme aucun extrait, contre 5 nommés sur 20 pour le patient MA ; Omar et al., 2010). Il semble par ailleurs de même amplitude que le déficit observé en mémoire sémantique non musicale (Johnson et al., 2011).

Au delà de la méthodologie utilisée et / ou de la difficulté de la tâche demandée, il semble qu'une certaine hétérogénéité interindividuelle persiste – au même titre par ailleurs que dans l'évaluation des habiletés en mémoire sémantique non musicale. Une étude menée chez 12 patients en stade modéré à sévère (et 12 contrôles appariés) compare différentes tâches de connaissance de mélodies familières : identification de distorsions, chant, discrimination parmi des mélodies non familières (Vanstone & Cuddy, 2010). Les performances sont évaluées sur la base d'une évaluation comportementale. Globalement, les performances des patients sont inférieures à celles des contrôles. Mais les données individuelles montrent que 5 patients sur 12 se comportent comme les contrôles, 4 montrent des performances partiellement préservées (inférieures aux contrôles mais supérieures au hasard), et 3 montrent des performances altérées. L'étude montre que les performances dépendent davantage des participants que du type de tâche, et qu'elles ne sont corrélées ni au niveau cognitif général, ni aux occupations passées ou intérêts musicaux (pour les patients comme pour les contrôles). Ces données sont en accord avec la grande hétérogénéité des troubles observés dans la MA, et d'autres études devront préciser si ces

habiletés musicales sont plus particulièrement corrélées à une ou plusieurs fonctions cognitives spécifiques, ou à des atteintes cérébrales particulières.

Les études qui se sont intéressées aux souvenirs autobiographiques évoqués par la musique chez des personnes atteintes de MA sont rares et permettent de tirer peu de conclusions. La première (Lord & Garner, 1993) compare des réponses à des questionnaires de renseignements autobiographiques sémantiques (ex : lieu de naissance) et d'humeur et interactions sociales, avant et après une période de 6 mois d'intervention. Soixante patients sont divisés en trois groupes, participant chacun à une des trois activités suivantes. Dans l'atelier musical, les participants écoutent des chansons des années 20 et 30 ; ils ont également des instruments de musique simples à leur disposition. Au second groupe sont proposées différentes sortes de puzzle. Le troisième groupe suit les activités de loisirs habituelles de l'institution : dessin, peinture, et télévision. Les patients montrent une progression pour les mesures testées seulement dans la condition musicale. Cependant, l'étude souffre de problèmes méthodologiques importants (e. g., évaluateur non aveugle, détail des activités et implication des aidants dans les activités non renseignés) et la sévérité des atteintes des participants n'est pas rapportée. De plus, les scores bruts des participants aux différentes mesures ne sont pas fournis, ce qui ne permet pas de juger de la taille de l'effet statistique rapporté. Les deux études subséquentes se basent sur une procédure complètement différente, puisque les mesures de mémoire autobiographiques y sont effectuées *pendant* l'écoute musicale. Dans la première (Foster & Valentine, 2001), le rappel de faits autobiographiques chez 23 patients en stade léger à modéré est comparé en fonction de 4 situations : effectué dans un environnement silencieux, dans une cafétéria (bruits divers), ou avec un fond musical familier (*Les Quatre Saisons* de Vivaldi) ou non familier. Les résultats montrent que la condition silencieuse amène à moins de rappels que les conditions auditives (musiques et bruit). De plus, au sein des conditions auditives, les deux conditions musicales sont supérieures à la condition « cafétéria » (les niveaux sonores de ces conditions n'est toutefois pas renseigné). La taille de l'effet reste cependant petite : les scores sont améliorés de 1.4 écart-type pour la différence la plus importante (souvenirs anciens, musique familière versus silence). Par contre, les différences sont significatives seulement pour les rappels portant sur les souvenirs anciens (et non récents). Les auteurs concluent que ces résultats sont dus à un effet stimulant (*arousal*) procuré par la musique ou l'environnement actif de cafétéria. En utilisant le même morceau de Vivaldi, Irish et collègues (2006) répliquent ces résultats chez 10 patients en stade équivalent en comparant la condition musicale à une condition contrôle silencieuse – à la différence que les souvenirs récents sont ceux qui bénéficient le plus de la condition musicale. Il est intéressant de noter que la différence entre musique et silence n'est pas significative chez les contrôles (participants âgés sans troubles cognitifs). Pour identifier les mécanismes à l'origine de cet effet, les auteurs mesurent des indices d'*arousal*, attention, et anxiété. Les résultats suggèrent que la baisse d'anxiété est la variable la plus reliée à l'amélioration du rappel. Par contre, cette étude ne comporte pas de condition auditive non musicale, et ne permet donc pas de déterminer la spécificité musicale dans cet effet.

Une autre manière de déterminer la nature du lien entre musique et évocation autobiographique est de chercher à savoir si l'effet facilitateur est du à un effet général (de type augmentation d'*arousal*, baisse de l'anxiété ou focalisation de l'attention), ou à un indiciage associatif entre une musique donnée et une période ou des événements de vie donnés. Janata (2005) propose que la structure cérébrale responsable de l'association (*binding*) entre les connaissances d'extraits musicaux et les souvenirs autobiographiques serait le cortex préfrontal médial rostral, structure qui serait par ailleurs préservée relativement longtemps dans les atteintes

de type MA. Avec le même type de design que ceux présentés précédemment, Schulkind et collègues (présenté dans Schulkind, 2009) ont demandé aux participants (type de démence et degré de sévérité non rapportés) d'évaluer les prix de produits alimentaires de base (œufs, pain, lait, etc.) de lorsqu'ils avaient 20, 40 et 60 ans. La tâche était effectuée en silence, ou selon trois conditions musicales, représentant chacune une des trois époques (extraits correspondant aux 20, 40 ou 60 ans des participants). Les résultats montrent que la condition musicale amène à de meilleures performances, mais sans lien entre l'époque de la musique entendue et la justesse à prédire les prix de cette époque. Cependant, les résultats sont trop peu détaillés pour en conclure de la taille de l'effet. En résumé, les mécanismes qui sous-tendent l'effet facilitateur de l'écoute musicale pour l'évocation de souvenirs autobiographiques restent donc peu connus. Mais même si l'effet n'est pas directement lié aux associations faites entre musique et autres souvenirs, la musique semble être un des stimuli privilégiés pour ce type de tâche, contribuant à stimuler le système cognitif et réduire l'anxiété, mécanismes probablement engagés dans cet effet.

### **2.3. Encodage épisodique d'un matériel musical familier et non familier**

Trois études à notre connaissance ont comparé la reconnaissance épisodique d'extraits musicaux (i. e., discriminer les extraits qui ont été préalablement écoutés dans la tâche parmi de nouveaux), avec des mélodies familières et non familières, chez des participants âgés et atteints de MA. Bartlett et collaborateurs (1995) mettent en évidence un déclin des performances progressif dans le vieillissement et dans la MA (stade léger à modéré, MMS moyen : 19.9/30). Qualitativement, les sujets jeunes et âgés sains montrent le même patron de réponse, avec plus de détections correctes (ou *hits*, réponse « oui » pour un extrait présenté) et moins de fausses alarmes (réponse « oui » pour un extrait non présenté) pour les mélodies familières, comparativement aux mélodies non familières. Les patients atteints de MA obtiennent eux aussi plus de *hits* pour les mélodies familières que non familières (bien que moins de *hits* en général que les contrôles âgés), mais ils commettent autant de fausses alarmes pour les mélodies familières et non familières (i. e., comme les contrôles pour les non familières, mais plus pour les familières). Ces résultats sont à nouveau cohérents avec les observations qui avaient été faites dans le domaine non musical (voir par exemple Bäckman & Herlitz, 1990, avec une tâche de reconnaissance de visages familiers et nouveaux). Les auteurs de ces études concluent que les patients MA bénéficient moins que les contrôles des connaissances préalables en mémoire à long terme. Il est cependant important de noter que, bien qu'utilisées dans une même étude et tâche, la reconnaissance épisodique de mélodies familières requiert des processus mnésiques très différents de la reconnaissance épisodique de mélodies non familières. En effet, dans le cas de mélodies nouvelles, le simple sentiment de familiarité avec la mélodie suffit déjà à indiquer qu'elle a été écoutée préalablement dans la tâche. Mais dans le cas de mélodies familières, il faut situer l'écoute de la mélodie dans le contexte spatio-temporel du testing (savoir quand on l'a entendue, en plus de savoir qu'on la connaît). Ainsi, le fait que les patients MA donnent plus de réponses « oui » pour les mélodies familières et « non » pour les mélodies non familières pourrait être expliqué par un déficit dans le processus d'encodage épisodique, la capacité à situer l'écoute contextuellement. Cette explication serait également en accord avec les troubles mnésiques objectivés chez les patients MA dès le stade léger, la mémoire épisodique étant le processus le plus précocement et sévèrement touché. Elle serait également cohérente avec l'étude de McAuley et collaborateurs (McAuley, Stevens, & Humphreys, 2004), menée chez des jeunes adultes, qui montre que la reconnaissance épisodique pour des nouveaux extraits mélodique est

davantage basée sur un sentiment de familiarité que pour des extraits familiers, mieux situés dans leur contexte d'écoute.

Une critique à adresser à l'étude de Bartlett et collaborateurs (1995) est qu'une seule présentation des mélodies rend peut-être la tâche trop difficile (les patients approchant d'un effet plancher pour les mélodies non familières). Samson et collègues (sous presse) ont comparé, chez 17 patients MA en stade léger à modéré (MMS moyen = 17.7) et 17 contrôles appariés en âge, la reconnaissance épisodique de mélodies familières et non familières après une ou trois présentations. Un test différé est également effectué après un délai de 24h. Comme dans l'étude précédente, les sujets contrôles ont de meilleurs scores de reconnaissance pour les mélodies familières que non familières. De plus, ils augmentent leur score entre une et trois présentations, et les performances sont relativement bien maintenues en rappel différé. Les patients MA montrent une altération de la reconnaissance, à la fois pour les mélodies familières et non familières. Ils ne montrent pas d'amélioration significative après trois présentations (comparativement à une seule). Par contre, on n'observe pas non plus de chute des scores en rappel différé, ce qui suggère que le peu d'informations qui a été mémorisé pendant la tâche a été consolidé. Bien que sans comparaison avec des jeunes adultes, ces données suggèrent de bonnes capacités d'apprentissage et mémorisation mélodiques dans le vieillissement normal. Par contre, bien qu'au dessus du hasard pour le second test (après 3 présentations) et le rappel différé, les patients MA montrent un déficit d'apprentissage comparativement aux contrôles, confirmant l'altération de la mémoire épisodique musicale. L'analyse des *hits* et fausses alarmes confirme les observations de Bartlett et collaborateurs (1995), suggérant que les patients confondent la familiarité pour l'extrait et l'identification de la source spatio-temporelle de l'écoute. Enfin, une autre étude menée avec le même matériel met aussi en évidence un déficit avec une gradation des performances en fonction du stade de démence (les patients en stade modéré montrant une performance qui ne diffèrait pas du hasard, significativement inférieure à celle des patients en stade léger ; Moussard et al., 2008).

#### **2.4. Formation de nouvelles connaissances musicales**

Les études décrites dans la précédente section suggèrent un déficit dans la formation des nouvelles connaissances musicales chez les patients MA – et une fragilité dans le vieillissement normal. Plusieurs autres études ont testé la formation de nouvelles connaissances musicales, indépendamment de leur composante épisodique. Ménard et Belleville (2009) ont comparé la reconnaissance de mélodies non familières et de pseudomots (considéré comme l'équivalent de nouvelles mélodies dans le domaine verbal) chez 16 patients en stade léger de MA (MMS moyen : 24.3/30) et 16 contrôles âgés. Dix mélodies (versus 10 pseudomots) étaient présentées aux patients chacun deux fois, avec consigne explicite de mémorisation. Les résultats ne montrent pas d'effet significatif du matériel. Bien que les performances en mémoire verbale et musicale ne soient pas corrélées, elles montrent en moyenne le même niveau de déclin chez les patients comparativement aux contrôles. Ces données sont donc à nouveau plus en faveur de l'hypothèse selon laquelle la mémoire musicale ne serait pas spéciale. Notons cependant qu'il est difficile de contrôler la difficulté des tâches dans ces études comparatives.

D'autres travaux font varier la procédure d'apprentissage avec encodage et / ou récupération incidents, afin de mettre en évidence des voies de mémorisation plus implicites. Dans le vieillissement normal, Gaudreau et Peretz (1999) ont testé un paradigme d'encodage incident de mélodies en contrastant le mode de récupération, soit volontaire (explicite – tâche de

reconnaissance), ou incident (implicite – jugement de préférence), chez des sujets jeunes et âgés (âges moyens : 22 ans, N = 40 ; et 70 ans, N = 40). Après une seule écoute des extraits, les deux groupes de sujets montrent une préférence (meilleurs jugements d'appréciation) pour les items étudiés, alors que les sujets âgés ont un score significativement inférieur à celui des plus jeunes dans la tâche de reconnaissance. A l'inverse, dans l'étude de Blanchet et collaborateurs (Blanchet, Belleville, & Peretz, 2006), les conditions d'encodage sont contrastées (intentionnelle versus incidente), avec une tâche de reconnaissance explicite, chez 15 participants jeunes et 15 âgés (âges moyens : 22 et 72 ans). Dans la condition d'encodage incident, les participants étaient simplement invités à juger si les extraits musicaux correspondaient plutôt à une danse de type marche ou valse. Les résultats montrent des performances similaires (en terme de nombre de *hits*) pour les jeunes et âgés pour la condition d'encodage intentionnel, mais confirme le déficit observé par Gaudreau et Peretz (1999) pour la conjonction d'encodage incident et récupération volontaire. Globalement, les résultats de ces deux études suggèrent des capacités de mémorisation de nouvelles informations musicales préservées chez les personnes âgées lorsque l'encodage et la récupération sont effectués dans le même mode (tous deux implicites ou explicites). Cependant, l'étude de Blanchet et collaborateurs montre que les participants plus âgés font là encore plus d'erreurs de type fausse alarme que les jeunes, démontrant une fragilité du processus de récupération.

Quoniam et collaborateurs (2003) ont confirmé les observations de Gaudreau et Peretz chez des patients MA, en mettant en évidence un déficit en reconnaissance, alors que les patients montrent un gradient de préférence qui suit le nombre d'expositions aux mélodies (1, 5 ou 10 présentations, sans consigne de mémorisation explicite). Cependant, Halpern et O'Connor (2000) nuancent cette observation. Après deux expositions, les items étudiés sont mieux reconnus et mieux appréciés chez les jeunes, mieux appréciés seulement chez les âgés sains (mais reconnaissance explicite altérée), et ni l'un ni l'autre pour le groupe de 15 patients MA en stade léger (MMS : 22.5/30), suggérant une altération des processus mnésiques explicites et implicites avec la maladie. Une différence importante avec l'étude préalable de Quoniam et collaborateurs est le nombre d'expositions au matériel (jusqu'à 10 fois, contre deux fois seulement pour l'étude de Halpern et O'Connor). L'importance de la répétition est cohérente avec des études sur la mémoire musicale menées chez les jeunes adultes (McAuley et al., 2004), ou dans d'autres types de troubles mnésiques (voir par exemple Samson & Peretz, 2005, chez des patients épileptiques avec lésion du lobe temporal). Elle est aussi retrouvée dans le domaine non musical dans le vieillissement (Paolo, Troster, & Ryan, 1997) et dans la MA (Fleischman & Gabrieli, 1998).

Avec des séances d'expositions multiples, Samson et collaborateurs (Samson et al., 2009) ont comparé la formation de nouvelles connaissances (sentiment de familiarité) musicales versus verbales chez 6 patients atteints de MA en stade modéré à sévère (MMS entre 7 et 15). Les participants ont été exposés à 3 chansons avec paroles (chansons populaires), 3 extraits instrumentaux (musiques de films) et 3 histoires (anecdotes avec contenu humoristique). Les extraits (environ 30 secondes chacun) ont été présentés aléatoirement lors de 10 sessions réparties sur deux semaines. Lors de la tâche de reconnaissance qui a suivi, les items étudiés n'étaient explicitement pas mieux reconnus que des nouveaux. Par contre, une observation comportementale (notation en 6 points par deux juges) a mis en évidence le fait que les stimuli musicaux étudiés (avec paroles ou instrumentaux) déclenchent un plus grand sentiment de familiarité que ceux non étudiés, ce qui n'est pas le cas pour les stimuli verbaux. Une étude subséquente menée par la même équipe chez 13 autres patients au même stade de démence compare l'évolution du sentiment de familiarité pour des extraits musicaux et verbaux (mélodies

instrumentales versus poèmes ; Samson et al., 2009). Les extraits sont présentés aléatoirement aux participants lors de 8 sessions (se déroulant sur 2 semaines). Les participants doivent indiquer leur degré de familiarité avec chaque extrait après l'écoute ; une mesure par observation comportementale est également effectuée. Les résultats indiquent globalement que le sentiment de familiarité pour les extraits progresse plus rapidement pour la musique que pour les poèmes au fil des 8 sessions. De plus, une tâche de reconnaissance effectuée deux mois plus tard (sans nouvelle présentation) montre que les extraits étudiés ont été mieux reconnus que les nouveaux pour la musique uniquement (pas de différence entre étudiés et nouveaux pour les poèmes). Les auteurs notent également de manière anecdotique que la musique permettrait plus que les poèmes la récupération d'informations contextuelles associées à la trace mnésique.

Cette possibilité de formation de nouvelles connaissances musicales est confirmée par des observations plus écologiques (Platel, en préparation). Lors d'ateliers d'apprentissage de chants nouveaux, menés dans une institution d'accueil pour longs séjours, les patients deviennent familiers avec une chanson sans le souvenir d'avoir participé aux séances. Lorsqu'ils entendent les paroles, ils sont généralement capables d'en chanter la mélodie (généralement sans les paroles) et certains la chantent même spontanément en dehors du contexte des ateliers. De plus, ils se montrent capables de chanter ces mélodies 4 mois plus tard, suggérant une rétention à long terme de cette nouvelle acquisition malgré une atteinte cognitive sévère (MMS entre 5 et 18). Platel propose que ces nouvelles acquisitions reposent sur les processus mieux préservés de mémoire implicite, la question de la spécificité musicale restant ici à préciser.

Pour expliquer que la musique soit un matériel privilégié dans la formation de nouvelles connaissances, en général et en particulier chez des patients MA, plusieurs auteurs ont évoqué le rôle crucial des émotions. Il est bien établi dans les domaines visuel et verbal que le contenu émotionnel d'un stimulus module la mémorisation (par exemple, Buchanan, 2007; Kensinger & Corkin, 2003; Phelps, 2004) : un item à contenu émotionnellement stimulant est mieux mémorisé que s'il est neutre (voir Cahill & McGaugh, 1998, et McGaugh, 2004, pour revues). Certaines études montrent que les meilleures performances sont observées pour les stimuli à valence émotionnelle positive (Anisfeld & Lambert, 1966; Bradley & Lang, 2000), et d'autres à valence émotionnelle négatives (Bernsten & Rubin, 2002; White, 2002). L'âge aurait ici un effet, les jeunes ayant tendance à mieux mémoriser les stimuli négatifs, contrairement aux personnes âgées qui présentent plutôt un biais pour les stimuli positifs (Spaniol, Voss, & Grady, 2008). Quoiqu'il en soit, l'émotion associée à ces cibles semblent être utilisée – de manière incidente – comme un indice pour leur mémorisation (Bower, 1981). Des raisons évolutives peuvent expliquer l'origine de ce phénomène (par exemple Nairne, Thompson, & Pandeirada, 2007; Sitoh & Tien, 1997), soutenues par la proximité anatomique et fonctionnelle des réseaux neuronaux sous-tendant les processus mnésiques (hippocampe en particulier) et émotionnelles (amygdale et système limbique ; voir par exemple Hamann, Ely, Grafton, & Kilts, 1999; McGaugh, 2004). Les études menées chez les patients cérébrolésés ont confirmé ce lien : les patients avec une lésion de l'amygdale ne montrent pas d'effet d'augmentation des performances mnésiques pour des stimuli à forte dynamique émotionnelle, notamment évoquant la peur (par exemple, Buchanan & Lovallo, 2001; Edith Frank & Tomaz, 2003; LaBar & Cabeza, 2006; Pouliot & Jones-Gotman, 2008). L'amygdale modulerait donc la mémoire déclarative des souvenirs dépendants de l'hippocampe (Phelps, 2004). Samson et collaborateurs étendent ces données au domaine musical, en montrant que des patients épileptiques avec lésion du lobe temporal gauche ou droit présentent une absence d'effet de l'émotion sur la mémorisation pour des extraits musicaux évoquant la peur (Samson et al., 2009). Cet effet est probablement dû au fait que l'amygdale a un

rôle crucial dans la reconnaissance des émotions, y compris véhiculées par la musique (voir par exemple Gosselin, Peretz, Johnsen, & Adolphs, 2007).

Plusieurs études menées chez les jeunes adultes ont démontré l'influence du contenu émotionnel sur la mémorisation d'extraits musicaux. Les pièces à valence positive (Eschrich, Münte, & Altenmüller, 2005, 2008) et à dynamique stimulante (Eschrich et al., 2005) sont mieux mémorisées par des sujets non musiciens. Dans une autre étude sans consigne de mémorisation lors de la phase d'encodage, les extraits les mieux mémorisés après un délai de 24 heures sont ceux qui ont à la fois valence et dynamique positives (i. e., représentant la joie ; ceux évoquant la tristesse étant les moins mémorisés ; Samson et al., 2009). Dans le domaine du vieillissement, associer un fait émotionnellement neutre à un extrait musical à mémoriser a un effet délétère sur la performance des personnes âgées (âge moyen : 70 ans), comparativement à un fait à contenu émotionnel ou à aucune association (Deffler & Halpern, 2011). Les sujets jeunes ne montrent pas de différence entre ces conditions. Ces données suggèrent une fragilité de la mémoire déclarative musicale liée à l'âge, en particulier en situation de double tâche (cohérent avec Blanchet et al., 2006), mais compensée par le contenu émotionnel. Bien que la comparaison directe entre la mémorisation de matériel musical émotionnel ou neutre n'ait pas été directement effectuée dans la MA à notre connaissance, les données de Samson et collaborateurs (2009) pourraient être attribuées en partie à un effet des émotions liées à la stimulation musicale sur la formation du sentiment de familiarité.

## **2.5. Mémoire procédurale**

Plusieurs études menées chez sujets musiciens en stade de MA modéré à sévère mettent en évidence des habiletés préservées pour jouer de leur instrument (Beatty, Salmon, Butters, Heindel, & Granholm, 1988; Beatty, Winn, Adams, Allen, Wilson et al., 1994; Crystal, Grober, & Masur, 1989; Polk & Kertesz, 1993), y compris avec un score de MMS très faible à 5/30 (Fornazzari, Castle, Nadkarni, Ambrose, Miranda et al., 2006, chez une pianiste). Cette production musicale peut être dissociée des capacités de ces patients à identifier ces mêmes morceaux (compositeur, titre ; Beatty et al., 1988; Crystal et al., 1989). De plus, ce maintien de la mémoire procédurale pour la pratique musicale semble indépendant des habiletés praxiques. Dans ces études, certains de ces patients présentent des troubles praxiques de type apraxie d'habillage (Beatty et al., 1994) apraxie idéomotrice (Beatty et al., 1988) : dans ce dernier cas, la patiente est par exemple incapable d'effectuer sur demande des mouvements simples comme dire au revoir de la main.

Deux études ont mis en évidence chez ces patients la possibilité d'apprentissage de nouvelles pièces musicales (Cowles, Beatty, Nixon, Lutz, Paulk et al., 2003; Fornazzari et al., 2006). Par exemple, un violoniste de 80 ans atteint d'une démence modérée (MMS : 14/30) est capable d'apprendre une nouvelle pièce en 3 séances d'entraînement, et peut la rejouer de mémoire après 10 minutes (Cowles et al., 2003). Par contre, la performance n'est pas maintenue après 3 jours, ce qui suggère que l'apprentissage a été trop superficiel pour être maintenu à long terme. D'autres études devraient examiner la rétention de nouvelles pièces apprises lors de séances successives.

Ces observations sont là encore dans la lignée des études menées dans d'autres domaines. Les acquisitions procédurales reposant sur des mécanismes automatiques et moins coûteux en ressources cognitives, elles sont plus robustes lors d'atteintes cérébrales, et la possibilité

d'apprentissage de nouvelles habiletés perceptivo-motrices, comme par exemple la lecture en miroir, a souvent été démontrée (voir Adam, 2006, pour une revue).

### 3. Résumé et perspectives

L'étude de la littérature concernant la perception musicale (traitement acoustique, mais aussi connaissances implicites du système tonal et reconnaissances des émotions) montre globalement pas ou peu d'effet de l'âge. Les observations sont plus mitigées dans la démence, où les performances varient davantage en fonction des individus et des tâches. Cependant, ces habiletés perceptives semblent relativement préservées comparativement à l'avancée de la démence et au déclin cognitif associé. La perception des émotions musicales semble également relativement bien préservée, y compris dans la démence, avec un biais pour les émotions positives. Notons qu'il est difficile d'avoir des tâches pures (qui ne font pas appel à d'autres fonctions, comme par exemple la mémoire de travail ou la compréhension verbale, rapidement fragilisées avec l'âge et altérées dans la démence). La mesure des performances par observation comportementale représente parfois un moyen efficace pour limiter l'influence des autres fonctions cognitives sur la tâche.

La mémoire musicale fait l'objet d'un débat autour de sa spécificité. Les patients MA présentent parfois une altération ou préservation mnésique spécifique à certains matériels (Baddeley, Della Sala, & Spinnler, 1991; Becker, Lopez, & Wess, 1992). Pourtant, l'ensemble des données empiriques suggèrent que la mémoire musicale suivrait le profil cognitif global, avec le même patron de préservation / altération que pour le domaine non musical, à la fois dans le vieillissement normal (Halpern & Bartlett, 2002, pour revue), et dans la démence (voir Baird & Samson, 2009, pour revue dans la MA). Ainsi, la mémoire à court terme musicale semble fragilisée dans le vieillissement normal et altérée dans la démence, au même titre que la MCT verbale et visuelle. Le même continuum est observé en mémoire à long terme épisodique, de manière cohérente là encore avec les autres domaines. La mémoire procédurale quant à elle semble relativement bien préservée, y compris parfois dans des stades avancés de démence, et malgré des troubles praxiques. De nouvelles acquisitions ont même été mises en évidence chez des musiciens, capables d'apprendre à jouer de nouveaux morceaux. Leur rétention à long terme reste cependant à confirmer. Ces données sont à nouveau cohérentes avec les observations effectuées dans le domaine non musical (visuomoteur par exemple).

La mémoire sémantique musicale (musiques que l'on *connaît*) pour les connaissances anciennement acquises semble relativement bien préservée dans le vieillissement. Il est cependant peu aisé de la comparer à d'autres domaines, car il est particulièrement difficile de contrôler le nombre d'expositions à ces différents stimuli au cours de la vie. Dans la MA, les performances semblent variables selon la tâche utilisée (et selon les individus). D'une manière générale, le sentiment de familiarité pour un extrait connu est préservé, mais les connaissances qui y sont associées (titre, auteur, etc.) sont altérées. Ces données sont cohérentes avec les évaluations de la mémoire sémantique dans le domaine non musical chez ces populations.

Les liens entre la mémoire sémantique musicale et la mémoire autobiographique restent à préciser, dans le vieillissement comme dans la démence. Il semble aujourd'hui que l'évocation de souvenirs autobiographiques à l'écoute de mélodies familières se fasse à un niveau plutôt général que spécifique, et dépende davantage d'un effet d'éveil ou de régulation d'anxiété que d'un lien associatif entre un morceau musical et un événement de vie.

Les capacités de formation de nouvelles connaissances musicales (non procédurales) semblent suivre un continuum jeune / âgés / patients lorsque l'apprentissage est effectué sur un mode explicite (bien que certaines études montrent des performances équivalentes aux jeunes pour les âgés sains). Ces habiletés apparaissent comme préservées lorsque l'apprentissage emprunte des voies de mémorisation plus implicites, dans le vieillissement d'une part, et possiblement dans la MA d'autre part. La meilleure préservation pour les apprentissages implicites chez des personnes présentant une altération de la mémoire déclarative (explicite) a souvent été mis en évidence pour du matériel non musical. Cependant, en comparant la mémoire implicite – après expositions multiples – pour du nouveau matériel verbal versus musical, une étude a montré que le sentiment de familiarité apparaît plus rapidement pour des stimuli musicaux que verbaux et est mieux maintenu dans le temps, même après plusieurs mois, chez des patients MA au stade modéré à sévère (Samson et al., 2009). Ainsi, si la mémoire musicale peut montrer une meilleure robustesse que la mémoire pour d'autres types de matériel, cela pourrait résider dans la formation d'un sentiment de familiarité en mémoire sémantique. Les prochaines études devront confirmer ces observations et expliquer comment les représentations mnésiques peuvent être formées plus efficacement pour du matériel musical. La composante émotionnelle jouerait peut-être un rôle important dans ce mécanisme.

Pour résumer, la mémoire musicale semble reposer sur les mécanismes mnésiques généraux, et est donc différemment altérée selon les formes de mémoire et le profil de dégradation cognitive. Cela explique qu'elle soit différemment atteinte selon les formes de démence (Omar et al., 2010). Cependant, le matériel musical se distingue possiblement des autres types de stimuli en ce qui concerne la formation des nouvelles connaissances, non pas parce que la musique serait traitée par un système de mémoire spécifique, mais parce que ses caractéristiques (notamment émotionnelles) résonneraient adéquatement avec les mécanismes de formation d'un sentiment de familiarité. Cette caractéristique peut conférer à la musique un rôle important dans un apprentissage associatif, où elle servirait de support à l'acquisition d'autres informations. L'utilisation de la musique comme moyen mnémotechnique est abordée dans le chapitre suivant à travers une revue de littérature dans les populations jeune, âgée et atteinte de démence.



---

# Chapitre 4 : La Musique comme Support de Nouveaux Apprentissages en Mémoire Verbale et Gestuelle

---

Dans la présente section, nous abordons la question de l'utilisation de la musique comme moyen mnémotechnique pour aider l'apprentissage de nouvelles informations de type verbal (textes) et moteur (séquence de gestes). L'idée que la musique peut représenter un moyen mnémotechnique est une croyance culturelle de longue date, et toujours influente aujourd'hui, dans les pratiques éducatives ou dans la publicité par exemple. Pourtant, relativement peu d'études scientifiques ont étudié cette question, et toutes sont tournées vers la mémoire verbale. Ces études et leurs implications théoriques et pratiques sont exposées dans la première section de ce chapitre. Les arguments laissant à penser que la musique pourrait constituer un support pour l'acquisition de nouvelles informations gestuelles seront ensuite rapidement exposés en seconde section.

## 1. Mémoire verbale

Plusieurs études ont testé le potentiel mnémotechnique de la musique pour de nouvelles acquisitions verbales. Ces travaux ont comparé l'apprentissage de textes ou listes de mots en fonction de leur présentation parlée (récités sur un ton naturel) ou chantée. Une très grande majorité de ces études a été menée chez le jeune adulte. Très peu ont étendu cette question aux populations présentant une fragilité ou un dysfonctionnement de la mémoire à long terme et des difficultés dans les nouveaux apprentissages.

### 1.1. La musique comme mnémotechnique chez le jeune adulte

Au moyen-âge déjà, les ménestrels transmettaient les événements historiques et les légendes par le biais de chansons (Calvert & Tart, 1993; Rubin, 1995). Cette pratique est toujours influente aujourd'hui, comme le montre par exemple l'utilisation de jingles musicaux dans la publicité (Yalch, 1991). A l'école, on apprend aux enfants l'alphabet en chantant. Certaines études ont même proposé l'utilisation d'un karaoké pour acquérir les lois de la physique (Dickson & Grant, 2003), ou l'apprentissage d'une seconde langue via des chansons (Medina, 1993).

Pourtant, les études empiriques qui ont comparé l'apprentissage de nouveau matériel verbal parlé et chanté ont mené à des résultats divergents. Certaines de ces études montrent que la musique peut dans certains cas aider à l'apprentissage et au rappel (Calvert & Tart, 1993; Chazin & Neuschatz, 1990; Kilgour, Jakobson, & Cuddy, 2000; McElhinney & Annett, 1996; Purnell-Webb & Speelman, 2008; Rainey & Larsen, 2002; Wallace, 1994; voir aussi, Wolfe & Hom, 1993, chez des enfants), alors que dans d'autres cas, on n'observe pas de différence entre

les conditions parlée et chantée (Jellison & Miller, 1982; Kilgour et al., 2000; Purnell-Webb & Speelman, 2008; Racette & Peretz, 2007; Rainey & Larsen, 2002; Wolfe & Hom, 1993; voir aussi Gingold & Abravanel, 1987; Wolfe & Hom, 1993, chez des enfants), ou même un effet nuisible du chant (Jellison & Miller, 1982; Racette & Peretz, 2007 ; voir aussi Calvert & Billingsley, 1998, chez des enfants). Souvent, ces différents effets peuvent être observés au sein d'une même étude, et sont donc très dépendants des conditions expérimentales (matériel et procédure utilisés). Deux facteurs en particulier semblent déterminants : les caractéristiques de la mélodie utilisée, et le délai de rétention testé. Nous verrons comment ils peuvent s'articuler dans un ancrage théorique du fonctionnement mnésique pour l'apprentissage de chansons.

Dans une chanson (paroles + mélodie), il y a davantage de choses à apprendre que dans un texte récité (paroles seules). D'un point de vue théorique, cette affirmation est représentée par l'idée que le texte et la mélodie d'une chanson seraient stockés dans des représentations mnésiques distinctes. Cette notion a été cependant l'objet d'un débat alimenté au cours des trois dernières décades. Originellement, Serafine et collègues (Serafine, Crowder, & Repp, 1984; Serafine, Davidson, Crowder, & Repp, 1986) ont proposé que paroles et mélodie étaient intégrés dans une seule représentation mnésique, impliquant que ces deux éléments ne sont pas ou difficilement dissociables. En d'autres termes, la mélodie d'une chanson en rappellerait très fortement le texte, et inversement. Cette théorie est basée sur le fait, par exemple, que les paroles d'une chanson sont plus faciles à reconnaître si elles sont associées à leur mélodie d'origine, que si elles sont chantées sur une autre mélodie (Hébert & Peretz, 2001; Serafine et al., 1986). De même, la reconnaissance d'une chanson-cible est facilitée lorsqu'elle est précédée d'une amorce, que cette amorce soit un extrait des paroles récité, chanté, ou un extrait de la mélodie chantée sur « lala » (comparativement à une amorce correspondant à une autre mélodie ; Peretz, Radeau, & Arguin, 2004). Cependant, dans une étude suivante, Serafine et collaborateurs modifient légèrement leur position, identifiant différents degrés d'intégration des paroles et de la mélodie d'une chanson (Crowder, Serafine, & Repp, 1990). Un peu plus tard, l'étude des atteintes neurologiques, grandement étendue au domaine musical depuis les 20 dernières années (voir l'exemple du cas IR, Peretz, Blood, Penhune, & Zatorre, 2001) a montré que dans certains troubles de la perception langagière ou musicale faisant suite à une lésion cérébrale (aphasie ou amusie acquises), la reconnaissance de seulement l'un ou l'autre de ces deux éléments – paroles ou mélodie – peut être altérée. Par exemple, des personnes amusiques ne peuvent reconnaître des chansons, même très familières, que sur la base de leurs paroles, mais pas si on leur en présente uniquement la mélodie (Peretz, 1996). Aussi, les amusiques ne montrent pas d'effet facilitateur (décrit chez les contrôles) de reconnaissance des paroles de mélodies familières lorsqu'elles sont présentées sur leur mélodie originale (cas CN, Hébert & Peretz, 2001). Ces observations sont en faveur d'un certain niveau de séparation et d'indépendance entre les représentations mnésiques des paroles et de la mélodie d'une chanson.

Une étude récente en neuroimagerie (Sammler, Baird, Valabrègue, Clément, Dupont et al., 2010) propose que ces deux approches d'intégration / séparation ne sont pas mutuellement exclusives. Par un paradigme d'adaptation en neuroimagerie fonctionnelle, selon lequel la répétition de certaines caractéristiques d'un stimulus entraîne une réduction de l'activité neuronale impliquée dans la représentation de ces caractéristiques, les auteurs ont testé la formation des représentations mnésiques pour les paroles et les mélodies de nouvelles chansons. En faisant varier successivement les paroles et/ou la mélodie des extraits, ils ont observé que ces deux éléments sont traités avec différents degrés d'intégration (ou séparation) aux différentes étapes du traitement de ces nouvelles chansons. Notamment, dans les régions cérébrales plus

postérieures, les deux éléments semblent plutôt intégrés, au niveau du traitement pré-lexical ou phonémique. Dans les régions plus antérieures, ils semblent plutôt séparés, avec un traitement indépendant plus marqué pour la composante linguistique, probablement relative au traitement sémantique de l'information langagière. Enfin, un autre niveau d'intégration semble apparaître au niveau du gyrus précentral gauche, et pourrait être lié à la préparation motrice automatique de production vocale, via une interface auditivo-motrice (voir ci-après pour un développement de cette question). Les auteurs suggèrent finalement que le degré d'intégration / séparation peut aussi dépendre du traitement cognitif spécifiquement engagé dans la tâche et peut être modulé par les instructions données (par exemple, tâche de rappel ou de reconnaissance, emphase sur l'une ou l'autre des deux composantes, etc.). Une limite de cette étude est qu'elle ne contient pas d'information sur l'évolution dans l'intégration de ces composantes au cours du temps, et avec une plus grande familiarité aux chansons. Or, il pourrait être avancé que l'intégration entre les deux composantes est plus forte lorsque la chanson devient plus familière. Nous y revenons ci-dessous.

Pour résumer, ce que nous pouvons comprendre de ces différentes observations est que paroles et mélodie d'une chanson, bien que neurologiquement séparables à certains niveaux de traitement (normal ou dans la pathologie), sont aussi fortement associées en mémoire, de manière bidirectionnelle, et que cette association est activée automatiquement par la présentation de l'un ou l'autre de ces éléments (Peretz, Radeau, et al., 2004). L'association entre les deux composantes, ou la force du lien qui les unit, est variable d'un individu à l'autre : elle peut être inexistante chez les patients cérébrolésés amusiques, ou très forte chez les sujets normaux (Hébert & Peretz, 2001). Cette association peut aussi dépendre, chez un même individu, de la tâche et des processus cognitifs mis en jeu, ainsi peut-être que du degré de familiarité avec la chanson. Le paragraphe suivant aborde les implications pour la mémorisation des chansons de la caractéristique de *séparation* entre ces représentations ; celui d'après décrit les implications de la caractéristique de *relation* entre elles.

Le fait que les paroles et la mélodie d'une chanson sont supportées par des représentations mnésiques distinctes, ne serait-ce que partiellement, implique qu'apprendre une chanson représente en quelque sorte une situation de double tâche, possiblement coûteuse sur le plan des ressources attentionnelles et de mémoire de travail (Racette & Peretz, 2007). Ce modèle peut expliquer pourquoi il peut être plus difficile d'apprendre des paroles chantées plutôt que simplement parlées, au moins dans les premières étapes de l'apprentissage. Ainsi, le bénéfice du chant peut dépendre de la surcharge plus ou moins importante que procure la mélodie dans le processus d'apprentissage. Cela peut expliquer pourquoi les caractéristiques de la mélodie semblent jouer un rôle important dans le sens que si la mélodie est simple, ou même déjà familière, le coût de l'apprentissage en est réduit et les performances facilitées. Wallace (1994) a montré en effet que la mélodie favorise l'apprentissage de paroles si elle est simple, symétrique, et répétée à travers les différents vers à mémoriser. A notre connaissance, l'utilisation de mélodies familières de longue date pour le participant – et donc ayant une représentation mnésique solide – a toujours mis en évidence une facilitation de la performance pour la mémorisation de nouvelles paroles qui y sont associées, comparativement à la condition chantée sur une mélodie non familière et / ou à la condition parlée. Cet effet a été démontré pour l'apprentissage de matériel relié (paroles, Purnell-Webb & Speelman, 2008), et non relié (liste de noms d'animaux, Korenman & Peynircioglu, 2004 ; voir aussi Wolfe & Hom, 1993, chez des enfants, avec l'apprentissage de série de chiffres – numéros de téléphones). Purnell-Webb et Speelman (2008) ont également testé un niveau intermédiaire de familiarité, où les participants

sont exposés à la mélodie seule pour familiarisation avant d'y ajouter les paroles. Ce procédé est intéressant car il permet de juger de l'effet de familiarité à l'intérieur d'un même ensemble de mélodies nouvelles : en contrebalançant les associations possibles des paroles et mélodies, on contrôle un effet simple de particularité possible d'une mélodie. Un autre biais évité concerne les souvenirs personnels qui sont évoqués par une mélodie familière, et peuvent influencer les résultats de différentes façons. Cette condition de familiarité « récente » n'a pas montré d'effet significatif comparativement à la condition de mélodie non familière. Cependant, la phase de familiarisation consistait seulement en 6 expositions passives à la mélodie, et la connaissance des participants de cette mélodie n'était pas évaluée ensuite ; il est donc possible qu'elle n'ait pas été suffisamment bien intégrée à cette étape de l'apprentissage. Cela peut aussi être expliqué par le fait que, lors de la familiarisation, la mélodie seule était présentée dans une version jouée au piano, et donc dans un timbre différent de celui proposé ensuite lorsque les paroles sont chantées. Ce changement de format (instrumental – vocal) a pu interférer avec la reconnaissance de la mélodie (voir Poulin-Charronnat, Bigand, Lalitte, Madurell, Vieillard et al., 2004).

D'un autre côté, le fait que les représentations mnésiques des paroles et de la mélodie d'une chanson soient fortement reliées – bien que neurologiquement séparables – suggère que ce double codage permet un lien associatif qui, bien que plus coûteux à l'encodage, peut favoriser le stockage et la récupération des informations. Cette hypothèse est en accord avec les théories de la neuropsychologie de la mémoire qui montrent qu'un encodage avec association ou avec un traitement plus élaboré est plus profond et maximise la mémorisation à moyen et long terme (par exemple, Craik & Lockhart, 1972; Craik & Tulving, 1975; Paivio, 1967; Paivio, Clark, & Khan, 1988). Cet effet résulterait du fait que l'association en mémoire rendrait la trace mnésique plus « distinctive » et donc plus facilement récupérable (Craik & Rose, 2011). Dans l'apprentissage de paroles parlées versus chantées, McElhinney et Annett (1996) ont montré en effet qu'un extrait chanté est plus difficile à acquérir (les performances des participants sont équivalentes ou meilleures pour l'extrait parlé après la première présentation des extraits), mais permet une meilleure progression des performances, et un score finalement deux fois meilleur pour la condition chantée après trois présentations. De la même manière, Rainey et Larsen (2002) n'ont pas observé de différence dans l'apprentissage d'une liste de mots parlée ou chantée lors du premier apprentissage, mais une semaine plus tard, lorsque les participants devaient réapprendre la même liste, ils ont eu besoin de moins d'essais pour réapprendre la liste chantée comparativement à la liste parlée. Calvert et Tart (1993) ont aussi rapporté un avantage pour la condition chantée de l'apprentissage du Préambule de la Constitution Américaine lorsque les participants étaient exposés au matériel de manière répétée ; aucune différence n'a été mise en évidence entre la condition chantée et la condition parlée lorsqu'ils étaient exposés au matériel une seule fois. Une autre démonstration de cet effet a été faite chez une personne aphasique (Wilson, Parsons, & Reutens, 2006). Entraînée à répéter 20 phrases parlées rythmiquement ou chantées rythmiquement pendant 4 semaines, elle ne montre pas de différence entre les deux conditions à la première mesure de ligne de base, après une semaine d'entraînement. Par contre, la condition chantée amène à de meilleures performances de rappel que la condition parlée à la cinquième semaine (c'est à dire une semaine après la fin de 4 semaines d'entraînement). Ces différentes observations montrent qu'il est très important d'inclure des mesures de rappel qui comparent différents délais de rétention – la performance initiale n'étant pas un bon prédicteur de la solidité avec laquelle la représentation de l'information apprise a été ancrée en mémoire à long terme. Le temps qui s'écoule entre ces délais jouerait plus en faveur de la condition chantée lors des différents apprentissages décrits. Cette meilleure consolidation pour les paroles chantées

peut résulter d'un encodage associatif plus riche et plus profond. Ces données sont cohérentes avec l'étude de Craik et Tulving (Craik & Tulving, 1975) dans le domaine verbal (apprentissage d'une liste de mots), qui montre une interaction entre la profondeur de l'encodage et le nombre d'expositions au matériel : l'amélioration de la performance résultant d'un encodage plus profond est plus marquée lorsque le sujet est exposé deux fois au stimulus plutôt qu'une.

Un argument en faveur de l'idée selon laquelle l'augmentation des performances résulterait d'une association bénéfique entre paroles et mélodie vient de l'étude de Calvert et Tart (1993), où les participants étaient libres d'effectuer leur rappel en parlant ou en chantant dans la condition musicale. Cette procédure peut s'avérer très informative sur la manière dont les participants forment leurs représentations mnésiques de manière spontanée à l'exposition de paroles chantées : le degré d'association entre les paroles et la mélodie au fur et à mesure des expositions, ou le lien de corrélation entre ce degré d'association et la performance de mémoire. Dans l'étude de Calvert et Tart (1993), non seulement les participants chantent davantage au fur et à mesure que le nombre d'expositions aux extraits chantés augmente, mais aussi, ceux qui chantent le plus lors du rappel sont aussi ceux qui obtiennent les meilleurs scores de mémorisation des paroles.

Une question soulevée par ces données est celle de la spécificité de la musique dans une telle association. Autrement dit, observerait-on les mêmes effets si l'on associait un autre type de matériel aux paroles à mémoriser, comme par exemple des images ? A notre connaissance, cette comparaison n'a jamais été étudiée. Cependant, nous proposons que la musique soit un stimulus particulièrement adapté pour y greffer un texte à apprendre. Outre le fait qu'il est tout à fait écologique de chanter des paroles (davantage que les mimer par exemple), la musique présente un certain nombre de caractéristiques qui la rendent adaptée à la stimulation cognitive en général (effets psychologiques et physiologiques émotionnels et d'éveil), à la mémorisation en particulier (lien triangulaire musique-émotion-mémoire), et à l'apprentissage d'informations verbales plus spécifiquement encore (liens structurels et proximité de traitement avec les stimuli linguistiques, incluant le rôle du rythme). Ces arguments sont développés dans les paragraphes suivants.

Comme abordé dans le chapitre 2 (section 3.1), la musique pourrait maximiser les performances de mémoire via un effet général de stimulation. Souvent associée au loisir, elle pourrait procurer aux sujets un plaisir qui favoriserait leur implication dans la tâche proposée et la mobilisation de leurs ressources attentionnelles. Les effets physiologiques associés (exemple de la hausse de dopamine) pourraient contribuer à maximiser le fonctionnement cérébral général. Ces considérations sont particulièrement pertinentes pour le travail avec des patients atteints de démence, car cela pourrait contribuer à compenser les tendances à l'apathie (voir chapitre 2, section 2). Parallèlement, ses effets apaisants (exemple de la diminution de cortisol) pourraient contribuer à diminuer le stress (chapitre 2, section 3.1), souvent présent chez les participants d'études expérimentales, en particulier lorsqu'ils sont âgés ou en stade débutant de démence.

Au delà de ces effets généraux sur la cognition, nous avons vu également que les émotions véhiculées par la musique pouvaient être exploitées pour maximiser la mémorisation (chapitre 2, section 2.4). L'association d'une mélodie familière de longue date à des paroles à apprendre pourrait maximiser cet effet en induisant plus d'émotions encore, en particulier si cette mélodie est associée à des émotions positives.

Les liens anatomiques et fonctionnels existants entre le traitement de la musique et celui du langage (décrits section 3.3 du chapitre 2) supportent également l'idée que la musique représenterait une association pertinente pour l'apprentissage de paroles, renforçant les

connexions entre les représentations mnésiques de la mélodie et des paroles (une composante renvoyant à l'autre), ce qui favoriserait le processus de stockage et de récupération en mémoire à long terme. Notamment, la musique présente une structure temporelle organisée de façon hiérarchique, qui peut représenter un support pertinent pour y greffer des paroles, permettant de souligner les accents du texte avec ceux de la mélodie. De ce fait, la mélodie peut attirer l'attention sur les caractéristiques de surface de la chanson (Wallace, 1994), donnant indices et limites dans la recherche des paroles. La structure mélodique (rythme, organisation séquentielle des phrases musicales, variations de la mélodie) peut donner des indices sur la structure du texte (longueur des lignes, nombre de syllabes par lignes, nombre de lignes par vers, etc. ...) et limite les choix possibles parmi les mots qui pourraient apparaître dans le texte. De plus, si la mélodie est bien ajustée au texte qu'elle accompagne (Gingold & Abravanel, 1987; Wallace, 1994), l'organisation structurelle de la mélodie permet un découpage du texte en unités pertinentes (*chunk*). Dans un *chunk*, plusieurs éléments sont groupés perceptivement et cognitivement en un tout, facilitant l'encodage et la récupération en mémoire à long terme (Miller, 1956). Or, il semble que les chansons sont davantage regroupées en *chunks* en mémoire, comparativement à d'autres matériels verbaux (Dowling, 1973). McElhinney et Annett (1996) ont également montré que des sujets normaux rappellent plus de *chunks* dans la condition de présentation parlée d'un texte, mais qu'ils rappellent moins de mots par *chunk* que dans la condition chantée, ce qui confirme qu'une chanson permet un meilleur découpage et regroupement d'items qu'un texte parlé.

L'organisation métrique (la pulsation et les patrons rythmiques de durées différentes) contribue également à la définition des *chunks* (Lerdahl & Jackendoff, 1983). Il a été montré en effet qu'un texte qui est parlé avec une intonation rythmique (accentué sur la pulsation) est mieux mémorisé qu'un texte parlé naturellement (Wallace, 1994), même si les performances pour cette condition restent inférieures à celles de la condition chantée. De manière intéressante, l'étude récente de Purnell-Webb et Speelman (2008) a montré qu'un texte parlé avec intonation pouvait même amener à de meilleures performances en rappel qu'un texte chanté, si l'accentuation prend en compte le rythme dans sa forme plus complexe – la métrique (i.e., l'intonation ne marque pas simplement la pulsation, mais l'ensemble de la hiérarchie d'accentuation rythmique). L'étude montre aussi que cet effet est d'autant plus fort si le rythme utilisé est familier pour le participant. Dans une étude utilisant le paradigme d'amorçage, Peretz et collègues (2004) proposent que la reconnaissance d'un extrait musical serait fortement basée sur sa composante rythmique (accentuation et métrique). L'effet du rythme sur la mémorisation des caractéristiques de surface a aussi été mis en évidence en mémoire à court terme. Après différents délais de l'ordre de moins d'une minute, la trace mnésique des caractéristiques de surface d'une musique ou d'un poème (contenant les mêmes caractéristiques rythmiques que la musique) reste stable, alors qu'elle décline pour le matériel linguistique de type prose (Dowling, Tillmann, & Ayers, 2001; Tillmann & Dowling, 2007). Ces effets peuvent expliquer en partie le passage facilité des informations de surface dans la mémoire à long terme.

La composante rythmique de la musique peut également jouer un rôle en favorisant la motricité (par exemple, Thaut et al., 2001). Or, dans le domaine verbal, l'action pendant l'apprentissage semble faciliter la rétention. Par exemple, des sujets jeunes mémorisent plus de mots d'une liste si elle a été lue à haute voix plutôt que silencieusement (« effet de production », voir MacLeod, Gopie, Hourihan, Neary, & Ozubko, 2010). Dans le domaine musical, Brown et Palmer (2012) ont montré que des sujets musiciens mémorisent mieux des nouvelles mélodies s'ils les apprennent en les jouant plutôt qu'en les écoutant simplement, d'autant plus si elles sont

complexes. En clinique, Racette et collaborateurs (2006) ont montré chez des patients aphasiques que la production verbale et le rappel de chansons sont meilleurs si les participants chantent le texte à mémoriser à l'unisson avec le modèle pendant l'apprentissage. Plusieurs facteurs explicatifs ont été avancés. D'une part, le fait de pouvoir synchroniser sa production avec un modèle stable peut permettre une meilleure exploitation des régularités temporelles de la mélodie, si elles sont cohérentes avec l'accent de la langue et la prosodie du texte (Racette et al., 2006). D'autre part, cette observation peut être mise en relation avec la théorie des neurones miroirs (Iacoboni et al., 1999; Rizzolatti & Arbib, 1998) ou d'une interface auditivo-motrice (Callan et al., 2006; Hickok, Buchsbaum, Humphries, & Muftuler, 2003; Warren et al., 2005). Ces modèles théoriques proposent l'existence d'un lien direct entre perception et action, avec une transformation du signal auditif dans une forme qui contraint l'articulation via un processus d'ajustement au modèle : les patients produisent et mémorisent de manière facilitée les phrases présentées s'ils ont la possibilité de les produire en même temps que le modèle. Ce processus est susceptible d'intervenir pour la parole (Hickok et al., 2003) et la musique (Callan et al., 2006). L'amélioration des performances avec la synchronisation de la production pourrait être due au fait que cette procédure diminue la charge en mémoire de travail lors de l'encodage, ce qui facilite l'enregistrement des informations. L'étude de Racette et collaborateurs (2006) montre cet effet facilitateur de la procédure d'apprentissage à l'unisson uniquement pour la condition où les extraits sont chantés (comparativement à la condition parlée). Ce résultat peut être expliqué par le fait qu'un plus grand nombre d'indices de synchronisation sont disponibles dans la version musicale comparativement à la version discursive. L'apprentissage verbal avec production à l'unisson n'a jamais été testé chez des participants normaux jeunes ou âgés, ni chez des personnes atteintes de démence. Pourtant, cette procédure pourrait soutenir le processus d'encodage, justement fragilisé dans le vieillissement, et altéré dans la démence de type Alzheimer. De plus, l'automatisme du chant pourrait faciliter également le processus de récupération.

Un dernier effet relié au rythme mélodique concerne le débit (la cadence). Prononcer une phrase en chantant est généralement plus lent que la prononcer en parlant. Cet effet peut expliquer que son encodage en soit facilité. En effet, dans l'étude de Kilgour et collègues (2000) l'apprentissage est facilité dans la condition chantée seulement si l'extrait chanté est ralenti par rapport à l'extrait parlé ; lorsque les vitesses de présentation et durées sont égalisées, cet avantage disparaît. L'étude de Racette et collaborateurs (2006) chez des patients aphasiques montre cependant que cet effet ne suffit pas à expliquer le bénéfice du chant. En variant différentes vitesses de présentation, ces auteurs confirment les meilleures performances pour le débit plus lent, mais ils montrent également une supériorité des performances dans la condition chantée, indépendamment de la vitesse (i. e., les extraits chantés-rapides ont quand même tendance à être mieux rappelés par les patients que les extraits parlés-lents).

D'autres auteurs proposent enfin que la musique augmente la cohérence des oscillations EEG durant l'encodage verbal dans les régions frontales, possiblement par un effet de canalisation de l'attention permis par la mélodie (Peterson & Thaut, 2007; Thaut, Peterson, & McIntosh, 2005). Cependant, sur le plan comportemental, l'étude n'observe pas de différence entre la condition parlée et chantée en rappel libre des mots (*Auditory Verbal Learning Test*).

Cette section montre combien la littérature concernant l'utilisation de la musique comme moyen mnémotechnique pour l'acquisition d'informations verbales est riche chez le sujet normal. En contraste, et de manière très surprenante, deux études seulement jusqu'à ce jour ont testé cette question avec des personnes âgées saines et / ou des personnes atteintes de la MA.

## 1.2. La musique comme mnémotechnique dans le vieillissement et la maladie d'Alzheimer

La recherche d'un moyen mnémotechnique efficace est une question très pertinente pour le vieillissement et la MA, étant donné que les troubles de mémoire représentent la perte cognitive la plus redoutée par les personnes âgées saines et la plus déplorée chez les personnes en stade débutant de démence, et que peu de stratégies permettent réellement de rassurer ou soulager ces personnes aujourd'hui. Dans la MA en particulier, nous avons vu que les processus d'encodage, stockage et récupération en mémoire à long terme déclarative sont altérés très tôt (chapitre 1, section 1). Certaines techniques basées sur la mémoire implicite ont permis de nouveaux apprentissages chez ces personnes (chapitre 1, section 3), y compris dans le domaine musical (chapitre 3, section 2.4). Mais aucune à ce jour n'est efficace pour soutenir les apprentissages plus volontaires ou plus complexes.

L'apprentissage par association favorise généralement les performances mnésiques chez le sujet jeune. Cependant, il est moins clair que l'association aide la mémorisation chez les sujets âgés. Pour expliquer le déclin de la mémoire épisodique observé dans le vieillissement normal, certains auteurs ont d'ailleurs suggéré l'existence d'un déficit dans l'association de l'élément à son contexte spécifique (Castel & Craik, 2003; Chalfonte & Johnson, 1996; Kessels, Hobbel, & Postma, 2007). Par exemple, l'étude de Naveh-Benjamin et collaborateurs (Naveh-Benjamin, Guez, Kilb, & Reedy, 2004) montre que les participants âgés reconnaissent globalement bien des visages et noms de personnes (taux d'échec de 4 % et 2 %, respectivement), mais sont moins bons pour retrouver la correcte association entre les deux (14 % d'échec). Cet effet dépend probablement des ressources cognitives disponibles (l'association pouvant représenter une surcharge si les ressources en attention, par exemple, sont insuffisantes). Les conséquences de cette fragilité peuvent souvent se faire ressentir dans la vie quotidienne des personnes âgées, qui peuvent par exemple avoir des difficultés dans les nouvelles associations de type nom-visage, ou objet-localisation (perte des clés, lunettes, etc.). Dans la MA, ce processus est altéré de manière bien plus significative encore, et peut même servir d'indice à son diagnostic (par exemple, Fowler, Saling, Conway, Semple, & Louis, 2002; Lindeboom, Schmand, Tulner, Walstra, & Jonker, 2002). Les patients MA ont ainsi des difficultés dans l'apprentissage de relations de type item-localisation (Swainson, Hodges, Galton, Semple, Michael et al., 2001) ou item-couleur (Parra, Abrahams, Fabi, Logie, Luzzi et al., 2009).

Cependant, si les personnes âgées sont bien guidées lors de l'encodage et de la récupération des informations à mémoriser, les stratégies d'association peuvent contribuer à compenser le déclin mnésique du vieillissement (Naveh-Benjamin, Brav, & Levy, 2007). D'autres études ont cherché également à minimiser ce déficit d'association dans la MA. L'étude de Nashiro et Mather (2011), par exemple, se base sur l'idée que le contenu émotionnel (valence et dynamique) facilite les associations en mémoire chez le sujet jeune. Les participants (jeunes, âgés sains, et MA en stade léger) doivent mémoriser des images présentées sur un écran d'ordinateur, ainsi que leur localisation sur l'écran. Les images variaient en termes de valence et dynamique (*arousal*) émotionnelle. Les résultats montrent que les personnes âgées et les patients MA (en moindre mesure) mémorisent un plus grand nombre d'items à contenu stimulant (*arousing*; comparativement aux items neutre), alors que la valence a peu d'effet sur les performances. Les deux groupes mémorisent également mieux les localisations des items à contenu stimulant. Les auteurs concluent qu'utiliser l'effet mnémotechnique des stimuli

émotionnels – souvent démontré par ailleurs dans des tâches d'apprentissage simple, sans association (chapitre 3, section 2.4) – peut permettre de compenser les stratégies déficitaires d'association en mémoire, à la fois dans le vieillissement normal et pathologique.

Dans le domaine musical, Deffler et Halpern (2011) ont comparé, chez des participants âgés sains, l'effet de différents indices sur la mémorisation de mélodies (i. e., l'inverse des études menées décrites précédemment chez le jeune adulte, où c'est la musique qui sert d'indice pour la mémorisation d'une autre information cible non musicale). Les mélodies à mémoriser étaient accompagnées d'un nom de catégorie, assigné arbitrairement et aléatoirement, et dans certains cas d'un fait fictif. Le fait associé pouvait être neutre ou à contenu émotionnel (positif dans la moitié des cas et négatif dans l'autre moitié). Les résultats montrent un effet d'âge dans la reconnaissance des mélodies. L'association d'un fait à la mélodie n'en augmente pas clairement la mémorisation. Elle est même délétère chez les personnes âgées dans le cas de l'association d'un fait neutre, ce qui peut être expliqué par une surcharge de la mémoire de travail pendant l'encodage, provoquée par l'ajout d'informations non pertinentes (Craik, 1999; Park, Smith, Lautenschlager, Earles, Frieske et al., 1996). Ainsi, dans cette étude, associer une information aide beaucoup moins que le simple fait de répéter plusieurs fois la mélodie à mémoriser (cohérent aussi avec Blanchet et al., 2006, dans une situation de double tâche en apprentissage musical). Ce résultat peut également être expliqué par le fait que l'association proposée était arbitraire, aucunement liée à la mélodie à mémoriser ; dans ce cas, le lien entre les deux est moins robuste qu'il pourrait l'être entre la mélodie et les paroles d'une chanson, par exemple.

Deux études seulement ont testé le rôle de la musique comme indice associatif pour la mémorisation de nouvelles informations verbales auprès de personnes âgées atteintes de MA – et une seule des deux teste également des personnes âgées saines. L'étude de Prickett & Moore (1991) fut la première – et la seule pendant 20 ans – à avoir étudié cette question dans un groupe de 10 patients MA institutionnalisés. L'étude visait à comparer le rappel de matériel parlé versus chanté familier (une chanson et une prière connues) et non familier (une chanson et un texte nouveaux). Les résultats montrent que les patients rappellent mieux la chanson familière que la prière, suggérant une supériorité de la condition musicale pour le matériel acquis depuis longue date. Les auteurs rapportent également que les patients semblent aussi mieux apprendre une nouvelle chanson qu'un nouveau texte. Cependant, les résultats ne sont pas analysés à l'aide de tests statistiques, et lorsqu'on calcule un t-test apparié sur les données rapportées, on s'aperçoit que cette différence n'est pas significative (la seule condition montrant une différence avec les 3 autres est la condition de chant familier, donnant les meilleures performances). Ce résultat est cohérent avec la littérature chez le jeune adulte, montrant que l'apprentissage initial d'un extrait n'est pas facilité par le chant, mais que sa rétention l'est (montré ici avec le matériel familier).

Cependant, l'étude n'est pas menée avec une méthodologie scientifique. Tout d'abord, les extraits ne sont pas contrebalancés entre les conditions parlée et chantée (un seul extrait par condition), et ne sont pas non plus appariés en niveau de difficulté. Ensuite, les participants ont assisté à 3 séances, et tous les extraits sont appris durant chacune, toujours dans le même ordre ; cela peut mettre en évidence des effets d'ordre influents (fatigue, interférence). La procédure d'apprentissage ne semble pas non plus contrôlée de manière rigoureuse (il est noté par exemple que l'assistant du thérapeute tapait occasionnellement le rythme des mains ou du pied pendant les séances, ce qui a pu influencer sur la performance des patients de différentes manières). Enfin, le niveau de sévérité de démence des patients impliqués dans l'étude n'est pas rapporté. Mais le point le plus critique réside sans doute dans le fait que lors du test de rappel, les patients sont simplement invités à chanter en même temps que le thérapeute. De ce fait, on ne peut pas

vraiment considérer qu'on teste ici leur mémoire, puisque les informations à fournir leur sont données en même temps qu'on les leur demande. De plus, cette procédure donnerait plutôt l'avantage aux conditions chantées, étant donné qu'il est plus écologique de chanter à l'unisson que de parler à l'unisson avec quelqu'un.

La seconde et récente étude qui a testé l'influence de la musique comme moyen mnémotechnique pour la rétention d'informations verbales dans le vieillissement et la MA est celle de Simmons-Stern et collaborateurs (Simmons-Stern, Budson, & Ally, 2010). Les auteurs ont comparé la rétention de nouveaux extraits présentés de manière parlée ou chantée chez 13 participants Alzheimer en stade léger (MMS moyen = 24/30) et 14 Contrôles appariés en âge, niveau d'éducation et expertise musicale. Les paroles de 40 extraits à mémoriser étaient présentées visuellement aux participants, et accompagnées de leur version auditive récitée (20 extraits) ou chantée (20 extraits ; les extraits sont répartis aléatoirement entre les deux conditions pour chaque sujet). De plus, une instrumentation accompagnait la version chantée. Les extraits étaient présentés dans un ordre aléatoire et chacun était répété deux fois (consécutives). Les participants étaient informés que leur mémoire pour ces extraits serait testée ensuite. La phase de test consistait en une tâche de reconnaissance (ancien / nouveau) sur 80 extraits (40 anciens, 40 nouveaux) dont les paroles sont à nouveau présentées visuellement mais sans leur enregistrement auditif. Les résultats (*Hits* – Fausses alarmes) montrent que les personnes avec MA reconnaissent significativement moins d'extraits que les Contrôles, mais qu'ils reconnaissent plus d'extraits chantés que d'extraits parlés (indice de reconnaissance à 0.40 versus 0.28, respectivement). Les Contrôles ne montrent pas de différence de scores pour les deux conditions parlée et chantée. Les auteurs proposent que l'encodage musical serait plus distribué dans le cerveau, impliquant davantage de zones sous-corticales (ganglions de la base, noyaux accumbens, hypothalamus, cervelet, voir Grahn, 2009, Levitin & Tirovolas, 2009, Limb, 2006) et corticales (comme le cortex préfrontal médial, Janata, 2009, et le cortex orbitofrontal, Limb, 2006) qui serait relativement bien préservées dans la MA. Cet encodage plus riche et plus distribué pour la musique aurait permis une meilleure compensation des troubles de mémoire des participants MA (comparativement à la condition parlée). Les auteurs abordent aussi la question de l'effet d'éveil potentiellement provoqué par la musique, augmentant le plaisir et l'investissement dans la tâche, et donc le maintien attentionnel durant l'encodage. Le fait que les Contrôles ne montrent pas cet effet peut être dû au fait que cette tâche, relativement facile pour eux, n'a pas nécessité le recrutement de stratégie particulière pour être réussie (les indices de reconnaissance « ancien / nouveau » sont proches de .80 pour les 80 extraits de test).

Cette étude est particulièrement encourageante en ce qui concerne l'effet de la musique comme support de la mémoire verbale chez des personnes atteintes de la MA. Cependant, il est difficile de déterminer si elle est en accord avec les données observées chez les jeunes adultes (présentées précédemment) car elle n'est pas directement comparable à ces travaux. Tout d'abord, elle utilise un accompagnement instrumental, qui ajoute une information supplémentaire dans la condition chantée, et peut avoir guidé la mémorisation des paroles d'une autre manière que lorsque l'extrait est simplement chanté *a Capella*. De plus, les paroles sont présentées avec le double support auditivo-visuel lors de l'exposition, et visuellement lors de la reconnaissance, ce qui diffère aussi des tâches décrites dans la littérature chez les jeunes adultes. Ce format – ainsi que le changement de format entre encodage et récupération – peut aussi avoir influencé les deux conditions de manière différente. Par exemple, il est plus écologique de lire un texte récité que des paroles de chanson, plus relié à la modalité auditive que visuelle. En reconnaissance, le changement de format (auditivo-visuel à visuel) représente aussi probablement un plus grand

travail de « filtrage » pour la composante mélodique que pour la condition parlée. Enfin, et surtout, cette étude utilise une tâche de reconnaissance, qui ne reflète pas les mêmes types de mécanismes mnésiques qu'une tâche de rappel libre (utilisée dans les études décrites précédemment). De manière générale, la tâche de reconnaissance est considérée comme plus facile que la tâche de rappel libre (chez les patients et âgés, et plus encore chez les contrôles jeunes) ; elle demande moins de ressources auprès des fonctions exécutives. Cependant, les performances en rappel et en reconnaissance peuvent interagir en fonction de la complexité du matériel. On sait qu'en rappel, un matériel plus complexe rend la tâche plus difficile (i. e., il est par exemple plus facile de rappeler une liste de mots s'ils sont familiers, simples et fréquents dans l'usage de la langue, que des mots moins fréquents et plus complexes ; Gardiner & Java, 1990). Mais l'effet inverse est observé en reconnaissance : lorsqu'il s'agit de retrouver les mots appris parmi plusieurs mots proposés, il est plus facile de le faire pour des mots complexes que simples (Cook, Marsh, & Hicks, 2005). Il se pourrait donc qu'un effet mis en évidence avec une tâche de reconnaissance sur du matériel chanté (et donc plus complexe : texte + mélodie + instrumentation, comme dans l'étude de Simmons-Stern et collègues) ne soit pas répliqué avec une tâche de rappel, qui pourra préférer la simplicité du texte seul. Enfin, la reconnaissance est une tâche moins écologique, le rappel étant plus couramment utilisé dans la vie de tous les jours (i. e., on a souvent à se souvenir de ce qu'on a fait, ou de ce qu'on doit faire, et l'on nous présente rarement des choix multiples pour nous guider). Reflétant davantage les activités du quotidien, ce processus de rappel serait donc intéressant à tester dans une population plus clinique avec ce paradigme de moyen mnémotechnique musical.

## **2. Mémoire gestuelle**

Un exemple de situation écologique d'apprentissage de séquence de gestes en musique est celui de la danse, et l'apprentissage de chorégraphie. Pourtant, aucune étude en neurosciences cognitives n'a cherché, à notre connaissance, à savoir si la musique pouvait soutenir efficacement la mémorisation de séries de gestes, ni dans population normale, ni chez des patients avec lésion neurologique, ni même chez des danseurs : leur est-il préférable d'apprendre leurs chorégraphies avec la musique sur laquelle ils danseront, ou bien la répéter tout d'abord sans musique et associer les deux une fois la séquence mémorisée ?

Chez le sujet tout venant, plusieurs arguments, notamment issus des liens avérés entre musique et motricité, peuvent être exposés pour soutenir l'hypothèse que la musique pourrait représenter un bon support pour la mémoire gestuelle. Comme abordé dans le chapitre 2 (section 3.3), la simple écoute musicale active les aires motrices. Cet effet est maximisé lorsque le sujet écoute des pièces qui lui sont familières (D'Ausilio, Altenmüller, Olivetti Belardinelli, & Lotze, 2006), ce qui suggère que la musique, et en particulier les morceaux connus des sujets, sont susceptibles de mobiliser l'action motrice. Nous avons vu également que l'écoute et la pratique musicale modifie les aires sensorimotrices, y compris après de très courtes périodes. Cette plasticité induite par la musique s'observe aux niveaux anatomique et fonctionnel, et suggère que la musique peut modifier les circuits neuronaux impliqués dans les exécutions motrices. Cette caractéristique lui confère une valeur importante pour les stratégies de remédiation des troubles sensorimoteurs et certaines études mettent déjà en évidence des effets de transfert d'entraînement musical à des habiletés sensorimotrices générales (non dirigées vers la musique) dans différentes pathologies neurologiques telles que la maladie de Parkinson ou l'aphasie avec composante d'apraxie de la parole. Ces stratégies utilisent pour une grande part l'aspect de synchronisation

auditivo-motrice. Or, les habiletés de synchronisation d'une production motrice à un rythme donné sont liées de manière plus robuste à la modalité auditive qu'aux autres modalités, et le rythme est un élément clé de la stimulation musicale.

De plus, la multimodalité auditivo-motrice durant l'encodage de mélodies a été démontrée comme facilitatrice chez des sujets musiciens (pianistes). Les participants mémorisaient mieux les mélodies lorsqu'ils les avaient jouées pendant l'encodage, et cet effet était d'autant plus marqué quand les mélodies étaient plus complexes (Brown & Palmer, 2012). Cet effet peut être dû au double codage auditivo-moteur, qui contribue à renforcer la trace mnésique (Kormi-Nouri, 1995). Il peut aussi être expliqué par le fait que l'encodage moteur des mélodies forme un souvenir procédural, souvent plus robuste, et qui peut être activé automatiquement lors de la récupération et guider la reconnaissance (Zimmer & Cohen, 2001).

Dans la MA, la mémoire procédurale est relativement bien préservée (comparativement aux autres formes de mémoire qui s'appuient sur des processus moins automatiques), y compris dans les activités musicales comme l'ont montré certaines études de cas chez des musiciens. De plus, chez les non musiciens atteints de démence, la musique contribue à lutter contre l'apathie et favorise le mouvement (chapitre 2, section 3.3).

Enfin, les mêmes arguments que ceux développés pour la mémoire verbale peuvent être appliqués au champ de la mémoire gestuelle. La dimension ludique de la musique peut augmenter la motivation et le fonctionnement cognitif général, en particulier dans le cas de valence et dynamique positives. La musique peut aider à attirer l'attention, et la composante rythmique à structurer l'encodage et donner des indices pour la récupération. Le double codage musique-gestes peut également favoriser les processus mnésiques. Il peut cependant aussi faire interférence et surcharger l'encodage chez les personnes avec ressources plus limitées.

### **3. Résumé et perspectives**

Dans le domaine de la mémoire verbale, la majorité des données qui renseignent l'effet de la musique comme moyen mnémotechnique sont issues de travaux chez le jeune adulte. Les conclusions sont divergentes, et il semble que la condition chantée montre un bénéfice sous certaines conditions seulement, par exemple, lorsque la mélodie accompagnant les paroles est familière, ou lorsque le délai de rétention est plus long. La procédure d'apprentissage avec chant à l'unisson pourrait également jouer un rôle. Sur le plan théorique, on peut comprendre l'apprentissage d'une chanson comme une tâche double nécessitant l'association (*binding*) en mémoire des paroles et de la mélodie de l'extrait. Cette association peut être coûteuse en ressource cognitive et surcharger les premières étapes de l'apprentissage, en particulier chez des personnes présentant déjà des difficultés cognitives. Moore et collaborateurs (Moore, Peterson, O'Shea, McIntosh, & Thaut, 2008) ont en effet montré, chez des patients atteints de Sclérose en Plaques et présentant des difficultés mnésiques, que la musique aide seulement les patients les moins atteints cognitivement. Il serait donc possible que l'association musicale perturbe les patients MA dans un premier temps, dans une tâche de rappel libre.

Cependant, l'association permet un encodage plus en profondeur et favoriserait par ailleurs le stockage et la récupération en mémoire, lorsqu'elle est réussie. Les paroles et la mélodie doivent également être bien ajustées afin de faciliter cette association, processus fragilisé dans le vieillissement et la démence. La spécificité de la musique dans une telle association est questionnable. Sa structure temporelle et rythmique, son organisation hiérarchique, ainsi que de manière plus générale son potentiel stimulant, nous permettent cependant de penser qu'elle peut

représenter une association pertinente pour y greffer des paroles. Notamment, elle favoriserait la consolidation et donc la rétention des informations à plus long terme.

De manière surprenante, cette question a très peu été testée dans une population âgée et démente. Les deux études existantes montrent des résultats encourageants. Cependant, elles ne contrastent pas différentes caractéristiques de la mélodie (comme la familiarité). Or, compte tenu des difficultés des personnes âgées – particulièrement atteintes de démence – en mémoire de travail, il serait intéressant de chercher à minimiser cette double tâche lors de l’encodage. La charge de mémoire serait allégée si l’une des deux composantes de la chanson était déjà acquise. Ces deux études ne testent pas non plus la mémorisation à plus long terme (nombre d’exposition et différents délais de rétention). Or il est possible que la condition musicale apporte les meilleurs bénéfices dans la mémorisation à long terme de l’extrait. De plus, les études sur la mémoire musicale dans la MA suggèrent une meilleure consolidation pour les stimuli musicaux que verbaux à long terme dans les nouveaux apprentissages (chapitre 3, section 2.4), ce qui est en faveur d’une aide de la musique dans la rétention de l’extrait. Enfin, les résultats de ces deux études restent à confirmer avec à la fois une méthodologie rigoureuse et dans une tâche de rappel libre, plus écologique.

L’effet de la musique comme support de la mémoire gestuelle n’a jamais été directement étudié. Pourtant, les forts liens entre musique et motricité (notamment via la composante rythmique), mis également en évidence dans la MA, et déjà utilisé pour la rééducation de troubles sensorimoteurs, ainsi que le potentiel de la musique pour stimuler la cognition en général et la motricité (notamment à l’écoute de musiques familières), sont autant d’arguments qui lui confèreraient un rôle privilégié pour soutenir les apprentissages moteurs.



---

# Objectifs de la thèse et Hypothèses

---

L'objectif de ce travail de thèse est de chercher un moyen de soutenir les nouveaux apprentissages en mémoire verbale et gestuelle fragilisés chez les personnes âgées saines et fortement altérés dans la MA. La musique semble représenter un matériel privilégié pour la stimulation dans la population âgée et dans la démence, car elle permet de stimuler la cognition et la motricité, de renforcer la mémorisation via son contenu émotionnel, et de réguler l'état psychologique. De plus, bien que suivant globalement le même patron d'altération / préservation en mémoire que les autres types de matériel, il semble que les caractéristiques du stimulus musical résonnent particulièrement bien avec la mémoire sémantique, et que le sentiment de familiarité soit favorable aux stimuli musicaux, que ce soit pour les anciennes ou nouvelles acquisitions. De ce fait, et de par les liens spécifiques que la musique partage avec le langage et la motricité, elle pourrait représenter un support efficace pour y associer de nouvelles informations à mémoriser. Nous proposons de préciser l'influence de différentes conditions musicales dans l'apprentissage de paroles (étude 1), et de tester pour la première fois l'apport de la musique dans un apprentissage de séquences de gestes (étude 2), chez des personnes âgées saines et atteintes de la MA. Dans ces deux études, nous mesurons les performances mnésiques en rappel libre, et comparons les scores de rappel immédiat et différé pour évaluer l'effet du délai de rétention. Nous contrastons aussi différentes procédures d'apprentissage, avec reproduction des éléments à mémoriser (paroles ou gestes) en synchronie avec le modèle ou seul, afin de mesurer l'effet de l'action synchronisée sur la mémorisation. Pour le versant verbal, enfin, nous testons l'évolution de la connaissance de paroles parlées et chantées au fil d'apprentissages successifs. Ce chapitre présente les dessins expérimentaux et prédictions pour chacune de ces deux études et leurs sous-questions, ainsi que la procédure générale utilisée pour le recueil des données.

## **1. Étude 1 : La musique comme support de nouveaux apprentissages verbaux**

**QUESTION 1** : Un texte est-il mieux appris et mémorisé s'il est présenté de manière parlée ou chantée – et lorsqu'il est chanté, est-il préférable que la mélodie soit déjà familière pour le participant (récemment ou de longue date) ?

Pour répondre à cette question, nous proposons de comparer l'apprentissage de paroles – inconnues des participants – selon quatre conditions de présentation : (1) parlé, (2) chanté sur une mélodie non familière, (3) chanté sur une mélodie non familière à laquelle les participants sont préalablement exposés avant d'y ajouter les paroles (basse familiarité), (4) chanté sur une mélodie familière de longue date pour les participants (haute familiarité). Nous émettons l'hypothèse que la condition de paroles chantée sur une mélodie non familière sera plus difficile à apprendre (rappel immédiat, RI) que les paroles parlées, en particulier pour les patients MA compte tenu de leurs difficultés à mobiliser leurs ressources cognitives. Par contre, les performances devraient s'améliorer avec la familiarité de la mélodie. En rappel différé (10

minutes après la fin de l'apprentissage, RD), nous attendons une meilleure consolidation pour les conditions chantées. Tous les extraits sont appris avec une procédure de répétition des phrases à mémoriser à l'unisson avec le modèle.

QUESTION 2 : La procédure utilisant le chant à l'unisson lors de l'encodage facilite-t-elle particulièrement l'apprentissage et / ou la rétention ?

Pour mesurer l'effet de l'action synchronisée, deux autres extraits sont appris sans répétition à l'unisson lors de l'encodage. Ces deux nouveaux extraits de paroles sont (1) parlé, et (2) chanté sur une mélodie non familière, afin de tester l'éventuelle interaction entre la synchronisation vocale et le type de matériel. Nous émettons l'hypothèse que le chant à l'unisson facilite l'apprentissage et la rétention (RI et RD) des extraits, en particulier lorsqu'ils sont chantés.

QUESTION 3 : Chez les patients MA, la connaissance d'un extrait musical progresse-t-elle plus rapidement que celle de paroles parlées lors de réapprentissages successifs d'un même extrait ?

En plus de comparer le délai de rétention (RI et RD), nous proposons de tester la consolidation d'un même extrait et l'élaboration plus profonde de sa connaissance au fil de quatre réapprentissages successifs (espacés d'une semaine) et un cinquième après un délai de 4 semaines. Les deux extraits parlé et chanté sur mélodie non familière qui avaient été appris à l'unisson lors de l'apprentissage initial sont choisis pour chaque participant MA pour cette seconde partie du protocole de l'étude verbale. Nous attendons une progression des performances plus rapide au fil des séances successives et un meilleur maintien après 4 semaines sans contact pour le matériel chanté.

## **2. Étude 2 : La musique comme support de nouveaux apprentissages gestuels**

QUESTION 1 : Est-il préférable d'apprendre et mémoriser une série de gestes en musique ou en silence ?

Nous comparons l'apprentissage d'une série de gestes en fonction de deux conditions d'accompagnement : (1) musical, et (2) silencieux avec métronome. Pour la condition musicale, nous choisissons une musique dansante de style familier pour les participants (folklore québécois), à dynamique et valence positives. Dans la condition silencieuse, le métronome permet de maintenir une cadence d'enchaînement des mouvements similaire à celle de la condition musicale. L'accompagnement (musical ou métronome) est proposé à nouveau lors de la tâche de rappel libre (RI et RD). Nous attendons de meilleures performances dans la condition musicale, particulièrement après consolidation (en RD).

QUESTION 2 : L'apprentissage et la rétention sont-ils favorisés avec une procédure utilisant la réalisation synchrone des gestes avec le modèle pendant l'encodage ?

De la même manière que pour la mémoire verbale, les séquences de gestes sont apprises selon deux conditions de répétition des gestes à mémoriser : seul, ou en synchronie avec le modèle. Nous émettons l'hypothèse que la réalisation du geste en synchronie facilite l'apprentissage et la rétention (RI et RD) des séquences, en particulier lorsqu'elles sont accompagnées de musique.

### **3. Procédure générale**

Les deux études sont menées au sein du même échantillon de participants : 8 participants atteints de MA en stade léger ( $MMS \geq 23$ ), et 7 participants contrôles sains, appariés en âge et niveau de scolarité. La première phase de l'expérimentation teste les questions 1 et 2 de l'étude 1 (versant verbal), et l'étude 2 (versant gestuel). Elle contient aussi une évaluation neuropsychologique visant à mesurer rapidement les fonctions mnésiques, attentionnelles, exécutives, langagières et de mémoire de travail. Certains de ces tests sont à nouveau administrés en fin de phase afin de mesurer l'effet des séances d'apprentissage sur la cognition. Chaque participant passe toutes les conditions expérimentales, testées lors de séances distinctes. L'apprentissage d'un extrait verbal (6 conditions) est alterné avec celui d'un extrait gestuel (4 conditions), pour éviter les interférences d'une séance à l'autre. L'ordre des extraits pour chaque étude est contrebalancé à travers les sujets. Douze à 13 séances composent cette première phase, à raison de 2 par semaine, soit 6 à 7 semaines de participation par sujet.

Une deuxième phase, proposée uniquement aux participants MA, teste la troisième question de l'étude 1. Six participants sur les 8 de la première phase y ont participé. Les deux extraits choisis sont réappris chacun une fois par semaine pendant 4 semaines, puis une nouvelle fois après 4 semaines, soit 10 séances pour cette seconde phase, étalées sur une période de 9 semaines. Un délai de 1 à 6 semaines peut séparer les deux phases. En tout, les participants MA qui ont suivi les deux phases d'expérimentation sont suivis sur une période de 4 à 5 mois.

Les séances sont individuelles et effectuées au domicile des participants (âgés et MA), par moi-même. Elles sont limitées à une durée de 45 minutes environ afin d'éviter un effet de fatigue, effectuées toujours à la même heure afin de contrôler l'effet du cycle circadien, et lors de journées fixes la plupart du temps, avec au minimum une journée entre les deux séances de la même semaine (ex. : tous les lundis et jeudis). Un formulaire d'information et de consentement, validé par le Comité d'Éthique de la Recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal, est signé par tous les participants.

### **4. Plan de la partie expérimentale**

La partie expérimentale est constituée de trois articles. Le premier est un article sous presse dans la revue *Music Perception*, numéro spécial « Music, Aging and Dementia ». Il présente une étude de cas d'une patiente Alzheimer et répond aux questions 1 et 3 de l'étude sur la mémoire verbale. Le second article (en préparation) présentent les résultats obtenus pour l'ensemble des deux groupes de participants (âgés et MA), et pour les 3 questions de l'étude sur la mémoire verbale. Le troisième article (en préparation) décrit l'ensemble de l'étude concernant la mémoire gestuelle, à nouveau pour les deux groupes de sujets.



---

# **PARTIE EXPÉRIMENTALE**

---



---

# Article 1 : Music as an Aid to Learn New Verbal Information in Alzheimer's Disease

---

Aline Moussard<sup>1,2</sup>, Emmanuel Bigand<sup>2</sup>, Sylvie Belleville<sup>3</sup> & Isabelle Peretz<sup>1</sup>

1. International Laboratory for Brain, Music and Sound Research (BRAMS), Université de Montréal, Canada.
2. Laboratoire d'Étude de l'Apprentissage et du développement (LEAD – CNRS UMR 5022), Université de Bourgogne, France.
3. Centre de Recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal, Université de Montréal, Canada.

Running title: Music as an Aid to Learn New Verbal Information

## 1. Abstract

The goal of this study is to assess whether new lyrics are better learned and memorized when presented in a spoken or sung form. In normal young adults, mixed results have been reported, with studies showing a positive, a negative, or a null effect of singing on verbal recall. Several factors can account for this limited aid of music. First, the familiarity of the melody might play a role. Second, successive learning sessions and long-term retention intervals may be necessary. These two factors are considered here in a case study of a participant who suffers from mild Alzheimer's disease. As expected, initial learning of new lyrics showed better performance for the spoken condition over the sung version unless the lyrics are learned on a familiar melody. After repeated learning episodes, learning sung lyrics – even on an unfamiliar melody – led to better retention of words. Thus, music may provide a more robust aid for consolidation in memory than spoken lyrics alone. The therapeutic implications of these results are discussed.

*Received January 15, 2011, accepted August 31, 2011.*

*Key words:* Alzheimer's disease, singing, verbal recall, delayed recall, music.

## 2. Introduction

The notion that music could serve as a mnemonic technique is a long-held belief. For example, songs would have aided minstrels to transmit historical events or stories (Calvert & Tart, 1993; Rubin, 1995). This belief is still influential today, for example in the use of musical jingles for advertisement. In education, a song is sometimes used to help children learn the alphabet. Other examples consist of learning the laws of physics through karaoke (Dickson & Grant, 2003), or learning English as a second language via songs (Medina, 1993). In the present article, we will try to better understand how music can help verbal memory, by reviewing the experimental literature. These studies were largely conducted on normal subjects. Next, we will address this question in a case study with an Alzheimer's disease participant.

The potential effect of music as a mnemonic technique for verbal material can be explained by different principles. For example, syntactic processes for music and language seem to share an important part of the same anatomical and functional cerebral resources (Maess et al., 2001; Patel, 2003). This brain overlap or proximity between music and language networks might help memory for songs by enhancing connections between lyrics and melody. Another possible relation between music and verbal memory is emotion. Music is a privileged means for expressing emotions (see Juslin & Västfjäll, 2008, for a review), which in turn plays a critical role in memorization (e.g., Nairne et al., 2007; Sitoh & Tien, 1997). This link between emotion and memory may also serve verbal memory. It is well-known that words with an emotional content are better memorized than neutral ones in a list learning task (Kensinger & Corkin, 2003). Thus, music may enhance memory via emotional mechanisms (Eschrich et al., 2008; Jäncke, 2008). Finally, emotion could also influence memory through a general *arousing* effect. Indeed, exposure to stimulating music increases cognitive functioning (see Latendresse et al., 2006, for a review of 26 studies). This effect is important in dementia, because it may compensate for apathy (Holmes et al., 2006) and increase attention and motivation, thereby improving learning and memory capacities.

The surface characteristics of a melody may also aid the learning of lyrics by providing cues and constraints (Wallace, 1994). The rhythm, for example, can give cues for the lyrics structure (such as the number of syllables per line) and limit the possible choices among the words that can be set to the melody. Moreover, when the melody is properly set to the lyrics (Gingold & Abravanel, 1987; Wallace, 1994), the melodic structure affords the formation of chunks. Chunks facilitate both encoding and retrieval, and songs tend to be organized in chunks in long term memory (Dowling, 1973). Indeed, McElhinney and Annett (1996) showed that even when participants recalled more chunks from spoken lyrics than from sung ones, they recalled more words per chunk in the sung condition.

However, music does not systematically facilitate verbal memory. When the learning of spoken new verbal material (such as tests or word lists) is compared with the learning of sung new verbal material, mixed results are observed. Some studies showed that participants recalled as much sung as spoken information (Gingold & Abravanel, 1987; Jellison & Miller, 1982; Kilgour et al., 2000; Rainey & Larsen, 2002; Wolfe & Hom, 1993). Some even reported worse performance for sung than spoken material (Calvert & Billingsley, 1998; Jellison & Miller, 1982; Racette & Peretz, 2007). Yet, others showed an advantage of sung over spoken presentation (Calvert & Tart, 1993; Chazin & Neuschatz, 1990; Kilgour et al., 2000; McElhinney & Annett, 1996; Rainey & Larsen, 2002; Wallace, 1994; Wolfe & Hom, 1993).

An important factor to consider is that performance seems related to melodic characteristics. Wallace (1994) has shown that the melody associated with the lyrics to be memorized has to be simple, symmetric, and repeated across the successive lines of the song. A second factor is that lyrics learning is easier when associated with a highly familiar melody as compared to an unfamiliar melody (Korenman & Peynircioglu, 2004; Purnell-Webb & Speelman, 2008; Wolfe & Hom, 1993, in 5-years-old children). Interestingly, Purnell-Webb and Speelman (2008) investigated an intermediate level of familiarity, where participants were presented with the melody alone before learning it with the lyrics. Yet, performance was not better when compared to the recall of the same lyrics coupled with an unfamiliar melody. However, the familiarization with the melody consisted of only six passive exposures. Moreover, the melody was presented in a different form (i.e., it was played on the piano) than when learning the sung lyrics. This change in format may interfere with melody recognition (Poulin-Charronnat et al., 2004).

Different theoretical frameworks have been proposed to account for the memorization of melody and lyrics in songs. Originally, Serafine and collaborators (Serafine et al., 1984; Serafine et al., 1986) proposed that lyrics and melody are integrated in a unitary memory representation. This implies that the two components of a song are not dissociable. Yet, in a following study, the same authors modified their position slightly, identifying different degrees of integration of the lyrics and the melody of a song (Crowder et al., 1990). A recent neuroimaging study (Sammler et al., 2010) was partly in line with the integration hypothesis, highlighting integration of these two components for phonemic processing and for vocal planning of singing. However, this study also showed that lyrics seem to be processed independently at a structural and semantic level. Moreover, neuropsychological dissociations have been reported, whereby only one of these two components could be lost after brain damage. For example, amusic participants can recognize highly familiar songs based solely on their lyrics, not on their melody (Peretz, 1996). Therefore, lyrics and melody are separable even if these are tightly associated (Hébert & Peretz, 2001; Peretz, Gagnon, Hébert, & Macoir, 2004; Peretz, Radeau, et al., 2004).

If lyrics and melody of songs are sustained by separate memory representations, learning a song represents a dual task for the participant who has to learn both components, not just one (Racette & Peretz, 2007). This model may explain why learning a sung excerpt may be more difficult to learn than lyrics alone, at least in the first steps of learning. It is also consistent with the observation (Wallace, 1994) that performance is improved when the melody is simple, and thus easy to memorize. The dual memory account is also consistent with the finding of superior performance for sung conditions when the melody is already familiar (Korenman & Peynircioglu, 2004; Purnell-Webb & Speelman, 2008; Wolfe & Hom, 1993). Similarly, the fact that singing is generally slower than speaking may facilitate the learning of the two components (Kilgour et al., 2000). In all these cases, the learning of both lyrics and melody is helped when the memory load associated with the musical component is decreased.

Although it can be more demanding to learn both lyrics and melody of songs than either component alone during the encoding stage, the learning of both components creates an associative link between the two items to be memorized, leading to a deeper encoding that may facilitate storage and retrieval in the long-term (e.g., Paivio, 1967; Paivio et al., 1988). Indeed, McElhinney and Annett (1996) showed that even though sung lyrics were initially remembered equally well as spoken lyrics, performance improved in the sung condition at a greater rate. After three presentations, sung lyrics were, on average, remembered twice as well as the spoken ones. Similarly, Rainey and Larsen (2002) observed no initial advantage of a sung over a spoken list of

words in the first learning session, but found that participants required fewer trials to relearn the sung list as compared to the spoken list one week later. Calvert and Tart (1993) also reported better short and long-term memorization of the preamble of the Constitution when sung than when spoken when participants were repeatedly exposed to the material, while they observed no difference when the participants were exposed to the material only once. More evidence comes from a case study with an aphasic patient (Wilson et al., 2006). The patient had to learn 20 sentences that were either rhythmically spoken or rhythmically sung. One week after training, both of these conditions led to better retention than for untrained sentences; however, after five weeks, the sung condition led to the best recall performance. Taken together, these observations suggest a more efficient consolidation process for sung conditions, which may form a deeper/associative encoding.

While the question of music as a mnemonic device may have clinical relevance for memory rehabilitation, only two studies have as yet addressed this topic with participants with memory impairments. In the first study (Prickett & Moore, 1991), ten Alzheimer's disease patients were equally poor at learning unfamiliar sung lyrics and unfamiliar spoken ones. Yet, what is interesting in this study is that these patients relearned a life-long familiar song better than a life-long familiar spoken text (i.e., a prayer). These results are consistent with the normal literature reviewed previously. However, there were some methodological shortcomings in this early study. Notably, stimuli complexity across conditions was not controlled. Moreover, the degree of severity of these patients was not reported. The other and more recent clinical study (Simmons-Stern et al., 2010) showed that mild Alzheimer's participants better memorized short verbal excerpts when they were sung rather than spoken. However, the task differed from previous studies; a recognition task (old/new judgment) instead of a recall task was used. Nevertheless, these two prior studies of Alzheimer's participants are very encouraging in showing that music can aid verbal memory.

The present study further illustrates how music can aid the recall of new lyrics in one mild Alzheimer's disease participant, comparing the effects of melody familiarity and learning episodes on recall. The initial phase consists of comparing the memorization of four new lyrics excerpts in four conditions: (1) spoken, (2) sung on a non-familiar (NF) melody, (3) sung on a recently learned (low familiar, LF) melody, and (4) sung on a life-long and highly familiar (HF) melody. The lyrics were learned by speaking/singing in unison with a model as this learning procedure was found to be adequate for aphasic participants in an earlier study using the same material (Racette et al., 2006). For the three sung excerpts, we predicted that performance would increase with melody familiarity, and that the unfamiliar sung lyrics would lead to worse recall than the spoken ones. The second phase of the study consisted of relearning the spoken and unfamiliar sung lyrics. We predicted that the sung lyrics would lead to better memorization than the spoken ones over time.

### **3. Method**

#### **3.1. Participant**

JL was a 68-year-old right-handed woman, with a low level of education (7 years). She stopped school when she was 14-year-old and then became a nun for a few years. She had to stop for medical reasons when she was 20, and then worked as a cleaning lady in a hospital and in a church. Since her retirement, she has acted as a volunteer in a health centre every morning.

Table 1  
*Neuropsychological, Auditory, and Musical Scores Obtained by JL*

Function	Test	Score	Observations
General cognitive functioning	MMSE (Folstein, Folstein, & McHugh, 1975)	25/30	Mild dementia stage
Verbal memory	15 words of Rey (Rey, 1970)	Number of words recalled for the five trials: 2 / 8 / 8 / 7 / 7; and for the recognition test: 12	Total of words recalled: percentiles 25-50; Recognition: percentile 50
Working memory	Digit span	Forward = 5; backward = 5	Normal
Executive functions	Stroop (Regard, 1981)	Time (s) / Errors for colours = 14 / 0; words = 16 / 0; and interference = 26 / 2	Time: Normal Errors: -2.41 <i>SD</i> for interference condition
Sustained attention	TEA (Robertson, Ward, Ridgeway, & Nimmo-Smith, 1994): elevator counting subtest	7/7	Normal
Verbal comprehension	Token test (De Renzi & Vignolo, 1962)	39/44	Low average
Mood	Geriatric Depression Scale (Yesavage, Brink, Rose, Lum, Huang et al., 1983)	1/30	Normal
Auditory capabilities	Repetition of 24 spoken and sung sentences from the experimental material	23/24	Normal
Musical experience	Questionnaire (Ehrlé, 1998)	4/27	Non musician
Musical abilities	Identification test for amusia (Peretz, Caron-Caplette, Gosselin, Nan, Villeneuve et al., 2012)	Scale = 18/20; Contour/interval = 14/20; Rhythm: 16/20	Normal
Recognition of musical emotion	Recognition of happiness, sadness, and fear in short excerpts (Vieillard et al., 2008)	Happiness = 81% Sadness = 73% Fear = 56%	Normal (Chance level = 25%)
Memory for music	Familiarity judgment and episodic recognition of familiar and unfamiliar melodies (Samson et al., 2012)	Familiarity judgment: Hits-FA = 8/8 Episodic memory (after 3 presentations): Hits-FA: familiar melodies 4/8; unfamiliar melodies = 2 / 8	Familiarity judgment: Normal Episodic memory: Impaired

In October 2004, she was referred to the Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal for memory difficulties, and after an evaluation, it was determined that she met the criteria for mild cognitive impairment. In March 2009, her cognitive impairment was classified as Alzheimer's disease, according to NINCDS-ADRDA criteria. When we saw her 11 months later, she

presented with mild dementia, as determined by a MMSE score of 25/30. Complementary neuropsychological assessments revealed episodic verbal memory impairment. Her scores in attention, working memory, verbal comprehension, and her auditory capacities were sufficiently high to perform the experimental tasks (see Table 1 for details). She had no psychiatric or neurologic antecedents. She was not a musician but she liked music. Her musical abilities were tested with the reduced child version of the Montreal Battery of Evaluation of Amusia (Peretz et al., 2012). In this test, JL had to discriminate a note change in melodies, which could either violate the key, the interval size or the contour, and the rhythm. Her scores (Table 1) did not differ from three age-matched controls. Moreover, she was normal at recognizing and classifying basic emotions (fear, sadness, and happiness; Table 1) in 2-s excerpts taken from a standardized set (Vieillard et al., 2008). JL was also able to judge whether an instrumental melody was familiar or not (Samson et al., 2012), but she was unable to recognize these same melodies in a yes/no memory recognition task, even after three presentations (Samson et al., 2012). Thus, she showed impaired episodic memory for melodies, when compared with three controls (Table 1).

### 3. 2. Material and Procedure

*Learning phase.* Materials and procedures were adapted from prior studies conducted by Racette and collaborators (Racette et al., 2006; Racette & Peretz, 2007). Four unfamiliar songs, from the repertoire of Claude Gauthier, a popular French-Canadian folk-singer and songwriter, were selected. These songs were deemed “good songs” in a pilot study in which participants judged their musicality, simplicity, and potential to be a hit. The four lyrics had equal linguistic familiarity, based on a French lexical database (New, Pallier, Ferrand, & Matos, 2001). Each excerpt contained eight lines, with few word or melodic line repetitions. Each line contained an average of six words and eight notes, with one-to-one mapping between syllables and tones. Lines respected the grouping preference rules proposed by Lerdahl and Jackendoff (1983), and the alignment of the lyrics and of the melody rhythm conformed to the rules used for French songs (Dell, 1989). As for musical structure, the songs had a stable, standard metre and were in major mode.

The lyrics of the four excerpts were recorded by a female singer and randomly assigned in one of the following conditions: one was spoken (recited with natural intonation and speed), two were sung on their original, unfamiliar melodies (i.e., for the non-familiar/NF and low-familiar/LF conditions), and one was sung on the familiar melody of Beethoven’s *Ode to Joy* (see Figure 1 for an example of this condition). In order to keep the one-to-one mapping between syllables and tones, the lyrics were slightly modified. The sung versions were recorded a capella – without instrumental accompaniment. The duration (in s) of the four eight-line lyrics excerpts was 21.5 s (0.33 s per syllable, on average) for the spoken lyrics, 33.5 s (0.52 s per syllable) and 28.5 s (0.41 s per syllable) for the two sung lyrics coupled with their original melodies, and 33.6 s (0.51 s per syllable) for the lyrics sung on the familiar *Ode to Joy*. The duration of the spoken version was shorter than the sung ones, in line with natural speech, in order to keep stimuli as ecological as possible.

Because there is a high variability in the number of lines that a participant is able to learn, even in normal subjects (Racette & Peretz, 2007), we used here an adaptive procedure. This procedure is represented in Figure 1. The participant first listened to the whole excerpt once in order to familiarize herself with it. Afterwards, the first line was presented. That same line was presented a second time, and the participant had to produce it in unison with the model. Then,

she was asked to produce the line alone and to try to memorize it. The second line was presented according to the same procedure: listened to, repeated at unison, and repeated alone. Then the two first lines were presented together, then the third, then the three first lines together, the fourth, and so on. A new line was added if the participant recalled at least 65% of the words presented in the previous recall trial (repetition alone), with a minimum of three lines learned for each excerpt. After the three first lines, if fewer than 65% of words were recalled, the procedure was stopped. This procedure put the emphasis on encoding and repetition in order to make the task accessible to a participant with mild Alzheimer’s disease. Finally, a delayed recall after a 10-min delay measured forgetting rate. The task was to recall the exact words and, if she did not remember them, to report whatever came to mind. The score calculated was the percentage of words correctly recalled out of the presented words for each trial where the participant had several lines to recall (i.e., we did not include the trial where only one line had to be repeated).

Lyrics presented	Lyrics repeated (unisson)	Lyrics to be recalled (alone)
(1) Dans cette petite boîte vide 	(1) Dans cette petite boîte vide	(1) Dans cette petite boîte vide
(2) Avec un ruban de velours 	(2) Avec un ruban de velours	(2) Avec un ruban de velours
(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours	(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours	(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours
(3) Il y a tout mon cœur et mes rides 	(3) Il y a tout mon cœur et mes rides	(3) Il y a tout mon cœur et mes rides
(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours (3) Il y a tout mon cœur et mes rides	(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours (3) Il y a tout mon cœur et mes rides	(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours (3) Il y a tout mon cœur et mes rides
(4) Mon sourire et mon amour 	(4) Mon sourire et mon amour	(4) Mon sourire et mon amour
(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours (3) Il y a tout mon cœur et mes rides (4) Mon sourire et mon amour	(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours (3) Il y a tout mon cœur et mes rides (4) Mon sourire et mon amour	(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours (3) Il y a tout mon cœur et mes rides ----- Stop if score < 65 % (4) Mon sourire et mon amour
		(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours (3) Il y a tout mon cœur et mes rides (4) Mon sourire et mon amour ----- Stop if score < 65 %

*Figure 1.* Illustration of the adaptive learning procedure for four lines (after listening to the entire excerpt for familiarization). For each trial, there were three steps: listening, repetition in unison with the model, and repetition alone (recall). The dotted line shows a possible stop of the task, if the participant recalled less than 65% of the words presented. This excerpt corresponds to the familiar melody condition with Beethoven’s *Ode to Joy*.

Four lyrics excerpts were learned in four conditions: spoken, sung on a non-familiar melody (NF), sung on an unfamiliar melody previously learned (i.e., low familiarity, LF), and sung on a familiar melody (Ode to Joy, i.e., high familiarity, HF). For the LF condition, the participant was exposed to the melody several times during a couple of weeks before testing lyrics learning, with a recorded version sung on “la” by the same singer. The number of exposure was not strictly controlled because the participant had to listen to a CD’s recording at home and on her own several times per week, with verbal and written reminders; the experimenter finally ensured that the participant was able to sing it at unison with the recorder before learning the lyrics. When learning sung lyrics, JL was told that recall of words was more important than the melody. The recall trials were preferentially made in the same form as presentation (either spoken or sung). However, if she felt more comfortable speaking than singing for sung lyrics recall, it was also accepted. Note that the experimenter could give the participant the first syllable of each line in order to initiate recall.

The four lyrics excerpts were learned in separate sessions, and were part of a larger evaluation protocol, involving 12 sessions of testing with the participant – generally two per week. They were presented in an arbitrary order, as follow: sung NF, sung HF, spoken and sung LF. The sessions took place at the home of the participant. Stimuli were presented through a loudspeaker, and the entire session was recorded and filmed.

*Relearning phase.* The two excerpts that were learned previously in a spoken and sung version (on a non-familiar melody-NF) were reused here. These were relearned five more times, in 10 supplementary sessions. The first eight sessions occurred twice a week, and the participant learned alternatively either the spoken or sung lyrics (for example, the spoken excerpt was learned each Monday, and the sung one each Thursday). The last two sessions occurred one month later (week 9). The same adaptive learning procedure was used as in the initial learning episode, except that this time, the experimenter made JL learn for each excerpt at least the same number of lines as she did in the prior session. Each of these 10 sessions contained also a delayed recall after 10 minutes.

## **4. Results**

### **4. 1. Learning Phase**

We first compared the scores obtained in immediate recall for the four conditions. JL reached the criterion of 65% of correct word recall after the first three lines of the unfamiliar sung condition (NF), and the first four lines in the three other conditions (spoken, sung LF, and sung HF). To allow comparisons across condition, we examined the first three lines of each excerpt. We calculated the percentage of words recalled (out of the words presented) over lines 1 and 2, and lines 1, 2, and 3. The results are presented in Figure 2. JL’s best performance was obtained with the sung LF version (with 30 words recalled) and her worst performance was observed with the sung NF version (11 words recalled; the effect of condition was significant, Pearson’s  $\chi^2(3) = 29.79$ ,  $p < .0001$ ). Contrast comparisons revealed that recall for the sung NF condition was significantly lower than the three other conditions, which did not differ from each other.

JL made only two intrusion errors in the data recall: one semantically related intrusion for the sung LF condition, and one phonological intrusion for the sung NF one.

JL was free to recall the sung excerpts in singing or speaking. We observed that she spoke most of the time, except in the LF condition, with 67% of sung words (while she did so only 24% and 30% for the sung words in the NF and HF conditions, respectively). Yet, she did know the familiar *Ode to Joy* melody sufficiently well for singing it along with the experimenter before learning it with novel lyrics.

JL could not remember any word ten minutes after learning, except for the sung LF condition (unfamiliar melody previously learned), where she recalled four words (out of the 20 learned words in the first three lines).

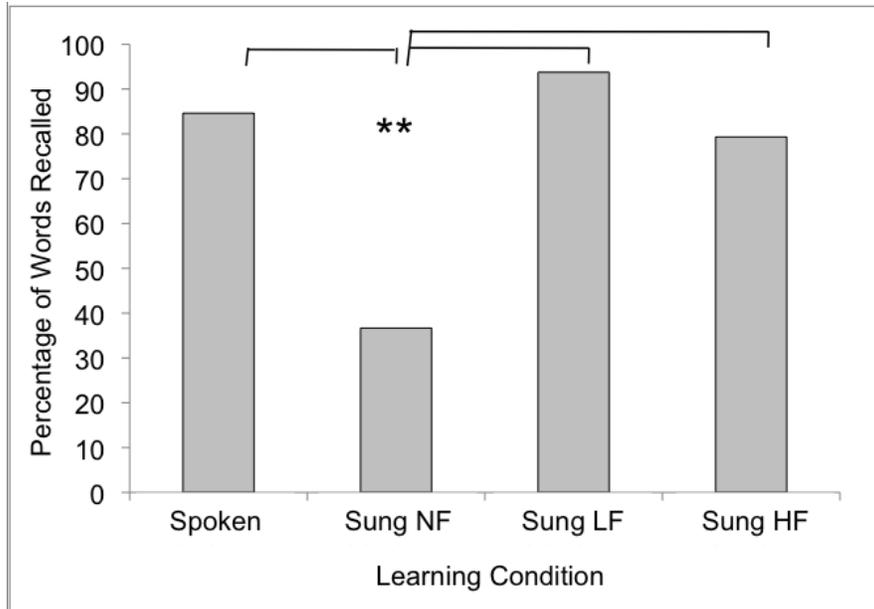


Figure 2. Learning scores of JL in the four conditions. Percentage of words correctly recalled (out of total words presented). Asterisks indicate a significant difference between conditions; \*\*  $p < .01$ .

## 4. 2. Relearning Phase

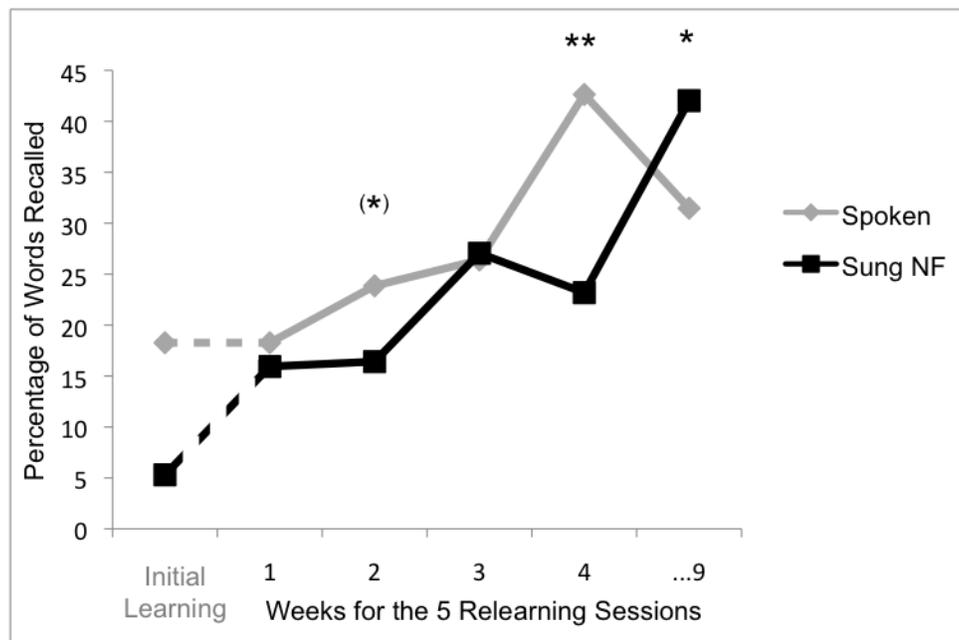
In order to examine progress over learning sessions, we calculated the number of words recalled at each trial, and calculated the ratio of the words correctly learned out of the total of words in the entire excerpt<sup>1</sup> (i.e., 46 words for each excerpt). JL's scores are presented in Figure 3. A log-linear analysis (Session x Condition) revealed a main effect of session,  $G^2(4) = 57.70X$ ,  $p < .0001$ , indicating that performance increased over time. There was also a marginal effect of condition,  $G^2(1) = 3.34$ ,  $p = .06$ , suggesting that the spoken lyrics tended to be better memorized than the sung ones. More interestingly, there was an interaction between session and condition,  $G^2(13) = 83.98$ ,  $p < .0001$ , suggesting different learning curves for the spoken and sung material.

Lyrics recall was not different between the spoken and sung version at week 1 and 3. The spoken condition led to better performance at week 2 and 4,  $\chi^2(1) = 3.48$ ,  $p = .06$ , and  $\chi^2(1) = 17.36$ ,  $p < .0001$ , respectively. In contrast, at week 9, the sung condition was better performed than the spoken one,  $\chi^2(1) = 4.83$ ,  $p < .05$ . A simple logistic regression showed a learning slope

– across the five relearning sessions – that was steeper for the sung condition (slope = .17,  $R^2 = .90$ ) than for the spoken one (slope = .08,  $R^2 = .29$ ).

When learning sung lyrics, JL recalled again more words while speaking than singing (only 31% of the words recalled were sung over the five relearning episodes), and this tendency did not change across sessions, while the melody probably became more and more familiar.

Across the relearning sessions, JL made four semantically related intrusion errors, six phonological ones (for example, “profeïque” for “prosaïque”), and three others (neither semantically nor phonologically related) in the sung condition, and one semantically related and five others in the spoken condition.



*Figure 3.* Learning scores of JL in the five relearning sessions. Percentage of words correctly recalled (out of total words). The dotted line represents the initial learning level for these two conditions (note that these data are not included for relearning statistics). Asterisks indicate a marginal or significant difference between conditions; (\*)  $p = .063$ , \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ .

Delayed recall scores showed a clear superiority effect of the sung over the spoken lyrics after initial relearning. The proportion of words recalled relative to the number of words learned 10 min earlier in each session is presented in Figure 4. This was supported by the log-linear analysis, which showed a main effect of session,  $G^2(4) = 52.68$ ,  $p < .0001$ , and a main effect of condition,  $G^2(1) = 13.22$ ,  $p < .001$ . The interaction between session and condition,  $G^2(13) = 74.84$ ,  $p < .0001$ , reflected the fact that at week 1 and 2, delayed recall did not differ between the spoken and sung material. At week 3 and thereafter, the sung superiority effect reached significance (by Fisher exact probability one-tailed test). In the last session (week 9), JL recalled 21 sung words after 10 min but only nine spoken words (i.e., 60 vs. 26.5 % of words recalled). The learning slope across sessions was also steeper for the sung than for the spoken condition (slope = .44,  $R^2 = .87$ , and slope = .27,  $R^2 = .82$ , respectively).

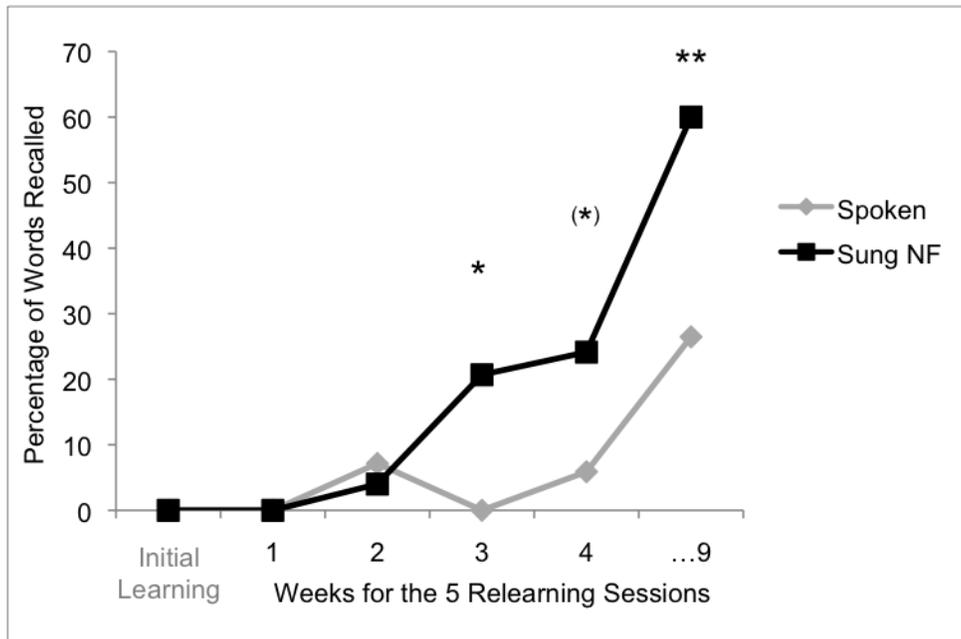


Figure 4. Delayed recall scores of JL in the five relearning sessions. Percentage of words correctly recalled (relative to the number of words learned 10 minutes earlier in each session). Asterisks indicate a marginal or significant difference between conditions; (\*)  $p = .068$ , \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ .

## 5. Discussion

In normal adults, music can interfere with verbal learning in initial stages, and facilitate performance in long-term retention or relearning episodes. The present case study replicates these findings in a mild Alzheimer's participant and opens new perspectives both for a better understanding of memory for spoken and sung lyrics and for best practice in clinical settings.

At initial learning of lyrics, singing does not necessarily help memorization. The effect of singing on learning during this initial phase depends on prior knowledge of the melody. Learning the lyrics on an unfamiliar melody is more difficult than learning them without a melody (spoken) or on a low or high familiar melody. However, over regular relearning episodes, performance increases for both the non-familiar sung and the spoken version, and somewhat more for the sung one, despite a surprising reversal of performance in the relearning session 4. When lyrics recall are delayed by one month (week 9) or even 10 min, sung words are better recalled than spoken words. Thus, music is an aid for verbal long-term retention.

In the initial learning phase, the conditions were presented in an arbitrary order, which happened to correspond to the performance of JL. She performed worse in the first sung NF condition and best in the last sung LF condition. This increase in performance may reflect familiarization with the task. Future testing of other cases of Alzheimer disease will shed light on this order effect. At any rate, in the relearning phase and in delayed recall, when order was counterbalanced between the spoken and sung version, JL exhibited a clear advantage effect for the sung version of the lyrics.

This differential effect of music on verbal memory is consistent with the theory of dual representation of a song's lyrics and melody (Hébert & Peretz, 2001; Peretz, 1996; Peretz, Radeau, et al., 2004). By this view, dual coding makes memorization demanding and slow, but when achieved, the trace is robust and retrieval from long-term memory is facilitated (Calvert & Tart, 1993; McElhinney & Annett, 1996; Rainey & Larsen, 2002; Wilson et al., 2006). Further support for separate representations for lyrics and melody is provided by the fact that JL recalled more often sung lyrics while speaking, instead of singing. If lyrics and melody were strongly associated in a unitary representation, JL would not be able to extract the words so easily. Moreover, this ratio did not change across the relearning sessions, as it would be expected if lyrics and melody would become more and more integrated with a deeper knowledge of the sung excerpt. Yet, in long-term recall, even if more words are recalled in the sung than spoken condition, most of them are recalled in a speaking mode.

Over multiple relearning episodes, an associative link between lyrics and melody leads to a better long-term retention for the sung lyrics than for the spoken ones, with more than twice as many words during the last relearning session after a ten-minute delay. These findings are consistent with the well-established fact that a rich and deep encoding, created by associative links between elements to memorize, facilitates both storage and retrieval in long-term memory (Paivio, 1967).

The question raised by these findings concerns the efficacy of music in this associative link for the consolidation process. Only one study has shown specific consolidation for musical stimuli in moderate to severe Alzheimer's patients: after multiple exposures (eight sessions over two weeks) to instrumental pieces or poems, the patients showed a feeling of familiarity for both kinds of stimuli, but, after a two-month delay, familiarity was only present for the musical material (Samson et al., 2009). The authors suggest that this gain is due to the strong emotional power of music, which may enhance the consolidation of memory traces. Further studies will be needed to explore whether learning lyrics with other forms of support (such as gestures, for example) also promote consolidation in Alzheimer's participants or in healthy subjects. If music is special because of its surface characteristic effects on chunking, its specific links with language, or its interactions with emotion or arousal, other forms of support may not lead to the same benefit for long-term retention. Further studies will also have to replicate these findings in a group study. Despite the degree of investigative thoroughness allowed by a case study, its statements concerning generalization to the population of Alzheimer's patients are limited. It is therefore of interest to characterize the cognitive and/or musical profile of patients that would incur the greatest benefit from singing the verbal information to be memorized.

This study has several clinical implications. First, it shows that individuals with mild dementia can still learn new musical information, as shown by the progression of performance across sessions and weeks, even if it may require more trials than in a non-impaired participant. These findings are consistent with prior studies in other domains, such as face-name associations (e.g., Bier, Van Der Linden, Gagnon, Desrosiers, Adam et al., 2008) showing that Alzheimer's participants are able to learn novel associations. Second, initial learning difficulty may not be a good predictor of how solid the memory trace will be in this population. In the initial stages, singing lyrics on a non-familiar melody can overload and interfere with learning. However, in the case of long-term care, sung material – even on unfamiliar melodies – may lead to better retention than a spoken one. Thirdly, singing instead of speaking is not necessary as long as the lyrics to be memorized are presented as a song. Finally, we wish to point out that the participant

enjoyed the multiple learning sessions. The “recreational” characteristic of the musical stimulation makes it privileged material for dementia care.

## **6. Author Note**

We wish to thank Amélie Racette for the material, Emilie Lepage (IUGM) for recruitment of the participants, and above all, the participant JL for her participation.

The first author holds a fellowship from the NSERC-CREATE program in Auditory Cognitive Neuroscience training grant. Preparation of this paper was supported by grants from Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada, the Canadian Institutes of Health Research, and from a Canada Research Chair to Isabelle Peretz and to Sylvie Belleville.

*Correspondence concerning this article should be addressed to Aline Moussard, Laboratoire BRAMS, Pavillon 1420 boul. Mont Royal, Université de Montréal, C. P. 6128 – Station Centre Ville, Montréal (QC), H2J 3G3, Canada. E-mail: alinemoussard@gmail.com*

## **7. Footnotes**

<sup>1</sup> This ratio is based on the total number of words to be learned in the excerpt, and not based on the number of words presented, in order to leave room for progress over sessions.



---

# Article 2 : Learning Sung Lyrics Helps Retention in Normal Aging and Alzheimer's Disease

---

Aline Moussard<sup>1,2</sup>, Emmanuel Bigand<sup>2</sup>, Sylvie Belleville<sup>3</sup> & Isabelle Peretz<sup>1</sup>

1. International Laboratory for Brain, Music and Sound Research (BRAMS), Université de Montréal, Canada.
2. Laboratoire d'Étude de l'Apprentissage et du développement (LEAD – CNRS UMR 5022), Université de Bourgogne, France.
3. Centre de Recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal, Université de Montréal, Canada.

Running title: Learning Lyrics Aid Retention in Aging and Dementia

## 1. Abstract

This study assesses the influence of music on the learning and retention of lyrics in aging and mild Alzheimer's disease (AD). Participants were required to learn and memorize lyrics that were either sung (on familiar or unfamiliar tunes), or spoken. Additionally, two learning procedures were contrasted, with or without shadowing (producing lyrics in unison with the experimenter) during encoding. The effect of successive learning episodes and long-term retention delay (4 weeks) were also tested but in AD patients only. Sung presentation of lyrics did not improve immediate recall when compared to speaking; performance was even worse when lyrics were sung on an unfamiliar melody. However, it was associated with better long-term retention in delayed recall (after 10 minutes), and to a lesser extent after the 4 weeks delay. These results provide evidence that whereas music may increase the load of initial learning, it also increases consolidation and thus long-term retention of newly acquired information. The study further allows some recommendations to maximize these effects and make them relevant for therapeutic applications.

*Keywords:* Alzheimer's disease, Elderly, Verbal Memory, Delayed Recall, Music, Singing.

## 2. Introduction

The practicing of and listening to music has been shown to benefit cognition and well-being in various populations of musicians and non musicians, including elderly individuals and demented patients (Koger & Brotons, 2000). Choral singing seems to modify neurophysiologic constants and decrease stress in adults (Kreutz et al., 2004) and is used with therapeutic aim with demented patients (Cevasco, 2010). This study aims to investigate if singing could be used to support verbal learning for elderly individuals and mild Alzheimer's disease (AD) patients.

Several studies investigated the idea that music could help as a mnemonic to learn verbal information. Most of them compared learning of spoken versus sung novel lyrics in young normal adults, and showed divergent results, some a beneficial effect of the sung condition (Calvert & Tart, 1993; Chazin & Neuschatz, 1990; Kilgour et al., 2000; McElhinney & Annett, 1996; Rainey & Larsen, 2002; Wallace, 1994; Wolfe & Hom, 1993), while others showed no effect (Gingold & Abravanel, 1987; Jellison & Miller, 1982; Kilgour et al., 2000; Rainey & Larsen, 2002; Wolfe & Hom, 1993) or even a detrimental effect of singing (Calvert & Billingsley, 1998; Jellison & Miller, 1982; Racette & Peretz, 2007). A way to understand that melody does not necessarily help learning is to consider the fact that sung lyrics comprise more material to learn (lyrics + melody) than mere spoken lyrics. As illustrated by neurological case investigations or neuroimaging studies in normal adults (Hébert & Peretz, 2001; Peretz, 1996; Racette & Peretz, 2007; Sammler et al., 2010), representations in memory for lyrics and melody of a song are not unitary but are separable. Accordingly, learning a song is likely to tap into attentional resources of independent domains, leading to a dual task situation and increasing cognitive load during learning. This hypothesis is confirmed by several studies showing that melody helps the learning of lyrics when the additional cost required to its processing is reduced as much as possible. For example, matching a familiar melody with the lyrics seemed to give more benefits than an unfamiliar one (Korenman & Peynircioglu, 2004; Purnell-Webb & Speelman, 2008; see also Wolfe & Hom, 1993, in children). Similarly, performance was enhanced when the melody was simple, symmetric, repeated across lyrical verses (Wallace, 1994), or slower than in a spoken lyrics condition (Kilgour et al., 2000), and thus easy to memorize. Another way is to give more time or more trials to the lyrics, to compensate for this load of encoding. In that way, Calvert and Tart (1993) also reported better short and long-term memorization of the Preamble of the Constitution when sung than when spoken when participants were repeatedly exposed to the material, while they observed no difference when the participants were exposed to the material only once.

While a dual coding can be more demanding in the first step of learning, it also creates a stronger memory trace that can facilitate later retrieval (Paivio, 1967). Thus, the help of melody for learning lyrics would depend on how strongly these two components are bound into memory. Despite the fact that lyrics and melody of a song are neurologically distinct, they still remain tightly associated, (e. g., Peretz, Radeau, et al., 2004). For example, individuals better recognized lyrics of songs when they were associated with their original melody (compared to mismatched excerpts; Hébert & Peretz, 2001). As these components are likely to be closely bound in memory, we can argue that melody would represent a relevant support mechanism when matched with lyrics to be learned.

Thus, we could expect an advantage of the sung lyrics learning at a mild or long-term retention. Indeed, McElhinney and Annett (1996) showed that even though sung lyrics were initially remembered equally well as spoken ones, performance improved in the sung condition

at a greater rate: after three presentations, sung lyrics were, on average, remembered twice as better as the spoken ones. Similarly, Rainey and Larsen (2002) observed again no initial advantage of a sung over a spoken list of words in the first learning session, but found that participants required fewer trials to relearn the sung list as compared to the spoken list one week later. More evidence comes from a case study with an aphasic patient (Wilson et al., 2006), showing increased retention of trained sung sentences over spoken ones five weeks after training (while no difference was observed between these two conditions one week after training). Taken together, these observations suggest a more efficient consolidation process for sung conditions, which may result from a deeper / associative encoding.

Another factor that could influence memorization of sung lyrics is the learning procedure. Some studies have documented that producing words during encoding can improve their later recognition, called the “production effect” (see for example MacLeod et al., 2010; see Brown & Palmer, 2012 in the field of music, for a study about the role of production on memorization of melody in musicians). Production of the song to be memorized (i.e. singing) could ultimately provide a triple verbal, musical, and motor code that can reinforce the memory trace. Also, the motor memory trace is likely to be the more robust in individuals with cognitive impairment (e. g., Van Halteren-Van Tilborg et al., 2007, in AD), and could provide cues for retrieval of lyrics. With the same materials as those used in the present study, Racette and colleagues (Racette et al., 2006) showed that aphasic participants had better performance in repetition and retention of sung lyrics (compared to spoken) only when participants sang in unison with the experimenter during encoding – referred to as the shadowing condition. This could be explained by the hypothesis of a direct link between perception and action, according to auditory-motor integration models (Warrens, 2005). Several interpretations can be proposed to explain the fact the sung condition shows greater benefit from shadowing than the spoken one. One is that shadowing involved synchronization, which is strongly related to temporal regularities and rhythmical components that are more clearly present in musical stimuli than speech. This may increase the quality of encoding in memory for sung lyrics, and must be tested in participants without language impairment.

Thus, these data suggest that certain conditions of music/word association promote verbal encoding. This is of huge interest for individuals with memory impairment, such as older people or Alzheimer’s disease patients. However, associating lyrics with music might not be directly amenable to memory-impaired patients. This relies on binding abilities which are demanding process in terms of cognitive resources, known to be reduced in older adults (Castel & Craik, 2003; Chalfonte & Johnson, 1996; Kessels et al., 2007 ; see Deffler & Halpern, 2011, for musical field) and in AD (Fowler et al., 2002; Lindeboom et al., 2002). The potential help of musical association on verbal memory should be investigated in these populations.

Surprisingly, only 3 studies to our knowledge investigated this question in Alzheimer’s disease (AD) population in the last 20 years. In the first study (Prickett & Moore, 1991), ten AD patients were equally poor at learning unfamiliar sung lyrics and unfamiliar spoken ones. That said, the authors did not manipulate the melodic characteristics (like familiarity), the learning procedure, the number of episodes, or the long-term retention. Yet, what is interesting in this study is that these patients relearned a life-long familiar song better than a life-long familiar spoken text (i. e., a prayer). These results are globally consistent with the literature in normal young adults. However, there were some methodological shortcomings in this early study. Notably, stimulus complexity across conditions was not controlled. Moreover, the severity of cognitive impairment in these patients was not reported.

The second and more recent study (Simmons-Stern et al., 2010) showed that mild AD participants (N = 13) better memorized short verbal excerpts when they were sung rather than spoken. The authors used a recognition task (old/new judgment), which is very different in terms of memory process from the free recall tasks used in previous studies. This is a notably less demanding task, which confirms that under such reduced memory load condition, music can aid further recognition. But it does not allow predicting performance of these participants on a recall memory task. In the linguistic literature, it has been shown that complexity of the material facilitated recognition assessment, but made for impaired performance in a free recall task (Cook et al., 2005).

The third study was single case (Moussard, Rochette, et al., in press) that tested learning and retention of spoken versus sung new lyrics with a free recall task with immediate and delayed recall measures, different degrees of melodic familiarity when lyrics were sung and multiple training sessions to address the question of consolidation of sung and spoken lyrics over time and after long-term delays. Results of initial learning sessions for immediate recall showed that it was more difficult for the patient to learn sung lyrics compared to spoken ones, except when sung on an already familiar melody. The evolution of scores throughout repeated learning sessions for sung and spoken conditions did not show a clear difference, but performance seemed better maintained for the sung condition after a long-term delay (4 weeks). Delayed recall (10 minutes after the end of the learning) showed very poor performance after the initial learning. However, from the 3<sup>rd</sup> learning session (of 6), the participant showed better retention of words for the sung condition compared to the spoken one. Despite the fact that this study is congruent with literature and theoretical expectations, it remains only one subject and need to be replicate and generalize to the population of AD and older people.

The present study aimed to use this same material to (1) test, in AD and Controls, the initial learning and retention (after a 10 mn delay) of sung versus spoken new lyrics, and the influence of melodic familiarity when sung, (2) test, in AD and Controls, the influence of the learning procedure and its interaction with singing during initial learning, (3) test, in AD only the influence of repeated learning sessions on learning and retention of sung and spoken lyrics, (4) test, in AD again, learning and retention of those sung and spoken lyrics after a long term delay (4 weeks).

This study was divided into 2 stages. The first stage tested initial learning and contrasted 4 presentations of new lyrics: recited as a poem (Spoken), sung on a non familiar melody (SungNF), sung on an unfamiliar melody that was previously learned alone before adding the lyrics (i. e., low familiarity level, SungLF), and sung on a life-long familiar melody (i. e., high familiarity level, SungHF). This first stage also contrasted two learning procedures for two of these presentation modes (Spoken and SungNF, with new lyrical excerpts): during encoding of lines of lyrical excerpts, participants had to repeat the line in unison with the experimenter after a first presentation (i. e., shadowing condition, Sh) or just to hear it again in a second presentation (i. e., simple hearing condition, H; See Figure 1). In accordance with literature in young healthy participants and our prior single case study, we predict that learning both new lyrics and new melody at the same time will have a detrimental effect on learning in immediate recall (SungNF < Spoken) for healthy elderly subjects,. For the three sung excerpts, we predict that performance will increase with the level of familiarity of the melody (SungNF < SungLF < SungHF). In 10-minute delayed recall, however, sung conditions are expected to lead to better performance than spoken ones, with a possible increase of performance with increasing of melodic familiarity (Spoken < SungNF ≤ SungLF ≤ SungHF). Concerning the learning procedure, Shadowing is

expected to lead to better memory performances (in immediate and delayed recall) than simple Hearing ( $H < Sh$ ), and somewhat more for the sung condition (with a more important difference between Sung\_H and Sung\_Sh than between Spoken\_Hearing and Spoken\_Shadowing). The same predictions are proposed for the AD group, except that we hypothesize a more important detrimental effect of the SungNF condition in immediate recall given their cognitive impairment, and a more important aid of singing in delayed recall where music may compensate for forgetting and retrieval troubles.

The second stage of the study aimed to investigate the evolution of knowledge for both Spoken and SungNF excerpts through repeated learning sessions, in AD participants only. If sung material provides better consolidation in memory over time, performance would better progress for the Sung than for the Spoken condition and lead to better performance after several learning trials and across time, for both immediate and 10-minutes delayed recall. Moreover, the long-term retention of these excerpts was tested after a 4 weeks delay, in which we expected better retention for the Sung condition over the Spoken one.

### **3. Method**

#### **3.1. Participants**

Eight AD and 7 healthy elderly participants were involved in this study. The mean age was 77.8 ( $SD = 5.2$ ) in the AD group and 75.7 ( $SD = 7.4$ ) in the control group (Mann-Whitney U test showed no significant difference,  $U = 24.5$ ,  $p = .69$ ). AD participants were recruited from the Geriatric Institute of University of Montreal (IUGM) and the Montreal Alzheimer's Society, Quebec. They all met the NINCDS-ADRDA research criteria for probable AD (McKhann, Drachman, Folstein, Katzman, Proce et al., 1984), and the DSM-IV clinical criteria for dementia of the Alzheimer type (APA, 1994). All were in mild stages of disease (MMSE between 23 and 27). Mixed dementias were excluded. The data for Participant JL was previously reported as a case study by the same authors (sous presse); she was included again in this group study (involving the same material and procedure than in the previous paper) to increase statistical power of the AD group. Control participants were older adults with no cognitive impairment matched to AD participants according to age and education level. For the two groups, exclusion criteria included presence or history of severe psychiatric disorder, neurological disorders, cerebrovascular diseases, alcoholism and dyslexia. All had French as first language. One Control participant (AL) was bilingual (French-English). Written informed consent was obtained from each individual and the study was authorized by the ethics committee of IUGM.

Neuropsychological assessment was performed at two times of the study: before the beginning of the first stage (pre-test), and between the first and the second stage (called post-test). Clinical assessment included the Mini Mental State Examination (MMSE, Folstein, Folstein, & McHugh, 1975), measures of episodic memory for a list of words (15-word free recall and recognition; Rey, 1970), and story (immediate and 10-min delayed recall; Belleville et al., 2006). Short-term and working-memory were evaluated with digit spans (forward and backward), as well as sustained attention (TEA, elevator task, Robertson, Ward, Ridgeway, & Nimmo-Smith, 1994), executive functions (verbal fluency; Semantic: Animals; Phonological: "P"; in 1.30 minutes) and verbal comprehension (Token test, De Renzi & Vignolo, 1962). We also measured their psychological state with the Geriatric Depression Scale (GDS, Yesavage et al., 1983) and a well-being scale (Bravo et al., 1996). Post-test involved again MMSE, short-term

and working memory, sustained attention, and the two psychological state questionnaires (same versions). Long-term memory for lists of words and story were tested with parallel versions. Clinical results are presented in Table 1.

Table 1  
*Neuropsychological, pre- and post-test (before and after Stage 1).*

	Demographic data			General cognition	Memory						Attention	Executive functions	Language	Psychological state	
	Sex	Age	Educ.	MMSE/30	Rey's 15 words		Story recall (number of items)		Short-term memory (digit span forward)	Working memory (digit span backward)	TEA (elevator task) /7	Verbal fluency: "Animals"   "P"; 1.5 mn (nb words)	Token test /44	Geriatric Depression Scale (GDS) /30	Well-being scale /100
					5 free recall trials /75	Recognition /15	Immediate /46	10-min delayed /46							
<b>Pre-test</b>															
<b>AD</b>															
HD	F	79	9	23	25	9	5	1	5	3	7	-	40	2	80
JO	H	77	17	23	12	2	1.5	0	5	3	6	5   4	29	0	84
JL	F	67	7	25	32	12	8	3	5	5	7	20   9	39	1	84
AM	F	84	12	25	22	8	3.5	0	7	4	6	24   20	32	7	54
JE	H	77	7	26	22	9	8	3.5	5	3	7	21   10	36	17	39
JR	H	79	16	26	17	7	4.5	0	6	4	7	28   26	42	5	69
RL	H	76	9	27	32	13	8	6	5	4	7	12   20	37	9	64
HU	F	83	16	27	19	4	4.5	3.5	6	5	7	13   20	35	6	94
Mean	4M/4F	77.8	11.6	25.3***	22.65***	8***	5.4***	2.1***	5.5	3.9	6.8	17.6   15.6	36.3**	5.9	71
SD		5.20	4.2	1.6	7	3.7	2.4	2.2	0.8	0.8	0.5	7.9   7.9	4.3	5.5	18.2
<b>CTRL</b>															
LL	F	82	10	28	42	15	5.5	5.5	6	4	7	10   9	41	6	73
RJ	F	77	15	28	63	15	23.5	19	5	4	7	28   17	44	1	85
RD	H	65	11	29	51	15	18.5	20	6	5	7	30   24	44	3	92
AL	F	70	15	29	62	15	28.5	23.5	5	4	7	27   12	43	1	68
LA	H	84	9	29	43	8	17.5	17.5	7	5	7	15   7	42	1	87
CB	F	70	8	30	45	12	21	19	5	4	7	22   22	36	4	79
MA	F	82	14	30	61	15	27	21	6	4	7	26   27	44	2	87
Mean	2M/5F	75.7	11.7	29	52.4	13.6	20.2	17.9	5.7	4.3	7	22.6   16.9	42	2.6	81.6
SD		7.4	2.9	0.8	9.4	2.7	7.7	5.8	0.8	0.5	0	7.4   7.8	2.9	1.9	8.6
<b>Post-test</b>															
<b>AD</b>															
HD	-	-	-	24	35	5	7	3	5	3	7	-	-	1	83
JO	-	-	-	23	9	0	3	0	4	4	7	-	-	0	79
JL	-	-	-	29	33	13	14	8	6	5	6	-	-	2	67
AM	-	-	-	23	28	4	4	0	7	6	7	-	-	9	66
JE	-	-	-	23	29	8	5.5	0	5	3	7	-	-	19	51
JR	-	-	-	25	19	9	6	3.5	6	5	7	-	-	2	89
RL	-	-	-	27	33	14	11	8	6	4	7	-	-	6	69
HU	-	-	-	27	31	6	6.5	0	6	4	7	-	-	6	81
Mean				25.1***	27.1***	7.4***	7.1**	2.8***	5.6	4.3	6.9			5.6	73.1
SD				2.3	8.8	4.7	3.7	3.5	0.9	1	0.4			6.2	12.2
<b>CTRL</b>															
LL	-	-	-	27	45	11	4.5	7.5	7	4	7	-	-	6	76
RJ	-	-	-	29	53	15	28.5	28.5	5	4	7	-	-	1	95
RD	-	-	-	30	62	14	24	15	7	5	7	-	-	2	93
AL	-	-	-	28	59	15	31	25.5	5	5	7	-	-	1	72
LA	-	-	-	30	40	13	17.5	14	7	5	7	-	-	2	95
CB	-	-	-	28	49	14	23	21	5	5	7	-	-	4	77
MA	-	-	-	30	64	15	36	27	6	4	7	-	-	1	94
Mean				28.9	53.1	13.9	23.5	19.8	6	4.6	7			2.4	86
SD				1.2	9	1.5	10.3	7.8	1	0.5	0			1.9	10.4

Patients also completed an extensive evaluation of auditory and musical abilities (Table 2). First, we controlled for the auditory capabilities of the participants with a task where they had to repeat some sentence fragments (from the experimental material). Then we tested their musical experience (with a questionnaire from Ehrlé, 1998). Concerning musical perception, we investigate their abilities to discriminate basic musical elements as pitch and rhythm by detecting changes of note in melodies which could either violate the key, the interval size, the contour, or the rhythm (adapted exercises from the child version of the MBEA, Peretz et al., in preparation). We also tested identification of emotions – happiness, sadness and fear – in short instrumental excerpts (from Vieillard et al., 2008). Short-term memory for tones was tested with a “same-different” judgment task of 2 to 8-item strings (from Menard & Belleville, 2009). Finally, they were evaluated on their semantic and episodic memory for familiar and unfamiliar instrumental songs (Samson et al., in press). Semantic memory corresponds to identification of familiarity,

while episodic recognition consisted of a “yes or no” decision about old and new familiar and unfamiliar songs after one (Test 1) or three (Test 2) exposures to these songs. Performance on these tests showed very similar performance for both groups. No participant was a musician. They presented with normal abilities in auditory and musical perception, and in semantic memory for music (i. e., familiarity recognition), which is congruent with Samson and colleagues (Samson et al., in press). They also present preserved short-term memory for musical material (contrary to previous findings of Ménard & Belleville, 2009, with this material). The only difference between them concerned episodic memory for previously heard melodies, which was impaired in AD for both familiar and unfamiliar songs in Test 1 (i. e., after one presentation, respectively  $Z = 1.94$ ,  $p = .053$ , and  $Z = 2.49$ ,  $p < .05$ ), and for familiar songs in Test 2 (i. e., after three presentations,  $Z = 2.91$ ,  $p < .01$ ), which is in line with the results of Samson and colleagues (Samson et al., in press) with similar population and material.

Table 2  
*Auditory and musical assessment.*

	Auditory test		Musical expertise	MBEA (adapted from Child version)			Musical Short-Term Memory	
	Repetition of sentences /24		Questionnaire /27	Scale /20	Intervals-Contour /20	Rhythm /20	Similarity judgment of 2 to 8 items strings of tones /28	
<b>AD</b>								
HD	23		4	16	15	14		-
JO	21		7	18	17	18		22
JL	23		4	18	14	16		22
AH	22		6	19	20	18		24
JE	24		3	19	19	19		21
JR	23		9	18	19	19		25
RL	23		3	17	18	17		25
HU	24		10	19	20	19		26
Mean	22.9		5.8	18	17.8	17.5		23.6
SD	1		2.7	1.1	2.3	1.8		1.9
<b>CTRL</b>								
LL	23		3	15	16	16		22
RJ	24		5	18	16	18		21
RD	23		4	20	20	20		26
AL	23		3	18	19	18		21
LA	22		3	18	17	18		24
CB	23		4	17	14	15		19
HA	24		7	17	14	20		22
Mean	23.1		4.1	17.6	16.6	17.9		22.1
SD	0.7		1.5	1.5	2.3	1.9		2.3
	Recognition of musical emotion /% correct			Semantic and Episodic memory for familiar and unfamiliar melodies (Hits-FA)				
	Happiness	Sadness	Fear	Familiarity recogn. /8	Test 1, familiar excerpts /8	Test 1, unfamiliar excerpts /8	Test 2, familiar excerpts /8	Test 2, unfamiliar excerpts /8
<b>AD</b>								
HD	-	-	-	7	2	1	3	0
JO	81.3	18.8	25	7	2	1	1	3
JL	81.3	62.5	56.3	8	0	3	4	2
AH	93.8	56.3	43.8	8	0	1	0	2
JE	31.3	6.3	31.3	7	2	0	2	1
JR	93.8	37.5	43.8	8	4	2	2	4
RL	93.8	43.8	25	6	0	2	5	3
HU	100	43.8	18.8	8	2	2	1	5
Mean	82.1	38.4	34.8	7.4	1.5 **	1.5 *	2.3 ***	2.5
SD	23.5	19.9	13.4	0.7	1.4	0.9	1.7	1.6
<b>CTRL</b>								
LL	81.3	43.8	18.8	6	4	2	7	-3
RJ	100	56.3	25	8	7	2	8	4
RD	56.3	31.3	62.5	8	3	3	8	5
AL	87.5	50	50	5	2	3	6	3
LA	93.8	43.8	68.8	6	5	1	4	5
CB	81.3	25	43.8	4	3	2	4	-1
HA	-	-	-	8	6	2	6	3
Mean	83.3	41.7	44.8	6.4	4.3	2.1	6.1	2.3
SD	15.1	11.6	19.9	1.6	1.8	0.7	1.7	3.1

Five of the 8 AD participants participated in the whole study. Two of them stopped after the initial learning stage: one refused to be re-tested for the repeated learning stage (HD) and one was no longer available (HU). Out of the 6 participants involved in the repeated learning

sessions, RL could not participate in the two last sessions (after the 4 weeks delay) because of having moved away.

### 3. 2. Material and Procedure

**Initial learning.** Materials and procedures were the same as in our previous case study (Moussard, Bigand, Belleville, & Peretz, in press) and adapted from prior studies conducted by Racette and collaborators (Racette et al., 2006; Racette & Peretz, 2007). Six unfamiliar songs were selected from the repertoire of Claude Gauthier, a popular French-Canadian folk-singer and songwriter. These songs were deemed “good songs” in a pilot study where participants had to judge their musicality, simplicity and potential to be a hit. The 6 lyrics had equal linguistic familiarity, based on a French lexical database (New et al., 2001). Each excerpt contained eight lines, with few word or melodic line repetitions. Each line contained an average of six words and eight notes, with one-to-one mapping between syllables and tones. Lines respected the grouping preference rules proposed by Lerdahl and Jackendoff (1983), and the alignment of the lyrics and of the melody rhythm conformed to the rules used for French songs (Dell, 1989). As for musical structure, the songs had a stable, standard metre, and were in major mode.

Five of the six excerpts were each recorded in three modes: spoken (recited with natural intonation and speed), sung their original (unfamiliar) melodies, and sung on “lala”. This allowed assigning them randomly in the Spoken\_Shadowing, Spoken\_Hearing, SungNF\_Shadowing, SungNF\_Hearing, and SungLF\_Shadowing conditions (the “lala” version served for the previous learning of melody in the SungLF condition). Duration for these 5 excerpts was on average 21 s for the spoken versions and 36 s for the sung and “lala” versions. The 6<sup>th</sup> excerpt was sung on the familiar melody of Beethoven’s *Ode to Joy* (see Figure 1 for an example of this condition), and systematically associated to the SungHF\_Shadowing condition. Its duration was 33 s. The duration of the spoken versions was shorter than the sung ones, in line with natural speech, in order to keep stimuli as ecological as possible. All the excerpts – spoken or sung – were recorded by the same female singer. The sung versions were recorded *a Capella* (without instrumental accompaniment).

Because there is a high variability in the number of lines that a participant is able to learn, even in normal subjects (Racette & Peretz, 2007), we used an adaptive procedure (Figure 1). The participant first listened to the whole excerpt once, in order to familiarize herself with it. Then the excerpt was learned line per line, until failure. For the shadowing (Sh) procedure, it occurred as follows: the first line of the excerpt was presented. That same line was presented a second time, and the participant had to produce it in unison with the experimenter. Then, s/he was asked to produce the line alone (recall), and to try to memorize it. The second line was presented according to the same procedure: listened to, repeated in unison, and repeated alone (recall). Then the two first lines together, then the third, then the three first lines together, the fourth, and so on. A new line was added if the participant recalled at least 65 % of the words presented in the previous recall trial (repetition alone), with a minimum of four lines learned for each excerpt. Immediate recall score corresponded to the cumulative score of these trials. Then a delayed recall measured rate of retention 10 minutes after the end of learning, without listening to the excerpts again.

Lyrics presented	Lyrics repeated (unisson)	Lyrics to be recalled (alone)
(1) Dans cette petite boîte vide 	(1) Dans cette petite boîte vide	(1) Dans cette petite boîte vide
(2) Avec un ruban de velours 	(2) Avec un ruban de velours	(2) Avec un ruban de velours
(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours	(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours	(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours
(3) Il y a tout mon cœur et mes rides 	(3) Il y a tout mon cœur et mes rides	(3) Il y a tout mon cœur et mes rides
(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours (3) Il y a tout mon cœur et mes rides	(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours (3) Il y a tout mon cœur et mes rides	(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours (3) Il y a tout mon cœur et mes rides
(4) Mon sourire et mon amour 	(4) Mon sourire et mon amour	(4) Mon sourire et mon amour
(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours (3) Il y a tout mon cœur et mes rides (4) Mon sourire et mon amour	(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours (3) Il y a tout mon cœur et mes rides (4) Mon sourire et mon amour	(1) Dans cette petite boîte vide (2) Avec un ruban de velours (3) Il y a tout mon cœur et mes rides (4) Mon sourire et mon amour
		----- Stop if score < 65 %

*Figure 1.* Illustration of the adaptive learning procedure for four lines (after listening to the entire excerpt for familiarization). For each trial, there were three steps: listening, repetition in unison with the experimenter, and repetition alone (recall). The dotted line shows a possible stop of the task, if the participant recalled less than 65 % of the words presented. This excerpt corresponds to the familiar melody condition with Beethoven’s *Ode to Joy*.

The Hearing (H) procedure was identical except that the participant did not repeat the line(s) in unison with the experimenter during encoding; he heard the line(s) two times (for having the same number of exposure) and then had to recall it. In other words, the procedure was: listened to, listened to again, and repeated alone (recall).

For the LF condition, the participant was exposed to the melody several times during a couple of weeks before testing lyrics learning, with a recorded version sung on “lala” by the same singer. The number of exposure was not strictly controlled because the participant had to listen to a CD’s recording at home and on her own several times per week, with verbal and written reminders (and with spouse complicity for AD participants). The experimenter finally ensured that the participant was able to sing it at unison with the recorder before learning the lyrics.

When learning sung lyrics, instructions were to pay special attention to the lyrics. Recall was measured by asking participants to reproduce orally the words of the excerpts as accurately

as possible, and otherwise to report whatever came to mind. The recall trials were preferentially made in the same form as the presentation (i.e., spoken when encoded without music or sung when encoded with music) – though participants were told that we did not care about melodic accuracy. However, if they felt more comfortable speaking than singing for sung lyrics recall, it was also accepted. Note that the experimenter could prompt the participant with the first syllable of each line in order to initiate recall if participants had difficulties with spontaneous recall. The 6 lyrics excerpts learned in initial learning were learned over 6 distinct sessions, presented in a different order for each subject, and separated with at least one week.

**Repeated learning.** One Spoken and one Sung (on a non-familiar melody, NF) excerpts are chosen from the initial learning. As we expected facilitated learning with the Shadowing procedure, we chose for each subject the Spoken and the Sung excerpts that had been learned with shadowing. Each was learned five more times, in 10 supplementary sessions. Thus, each of these two excerpts was learned 6 times in all over 12 sessions. The first two sessions (called S1, one for each excerpt) corresponded to the initial learning (described previously). The following eight sessions correspond to successive repeated learning sessions (S2 to S5, four for each excerpt). They occurred twice a week (with at least one day between consecutive sessions), and the participant learned alternatively either the spoken or sung lyrics (for example, the spoken excerpt was learned each Monday, and the sung one each Thursday). The last learning session (S6, one for each excerpt) occurred after a 4-week break (long-term re-learning). The same adaptive learning procedure was used as in the initial learning, except that this time the experimenter made participants learn at least the same number of lines as she did in the prior session for each excerpt. The shadowing procedure was used each time and the general procedure was identical to stage 1. Each of these 10 repeated learning sessions also contained a delayed recall after 10 minutes.

### **3. 3. Design**

This study was part of a larger evaluation protocol (including other studies not described in this paper). The first three sessions were devoted to the neuropsychological and musical assessments. Also, a training trial involved a sung lyrics learning to familiarize participants with the principle of the task; so the first experimental condition was not the first time participants were exposed to this task. Then, the initial learning sessions were performed (alternatively with other testing not described here). Then, the second “post test” neuropsychological assessment was performed and, finally, the repeated learning sessions. After 4 weeks without contact, the two last repeated learning sessions were conducted. Thus, participants that were involved in the whole study were following up for about 4 months. Each session lasted around 45 minutes and took place at the home of the participant, always at the same hour. Stimuli were presented through a loudspeaker, and the entire session was recorded and filmed.

### **3. 4. Scoring and data analysis**

As recall trials, we consider trials where participants had more than one line to recall (i. e., lines 1 and 2, 1 to 3, and so on up to lines 1 to 8). As participants learned at least four lines, they performed at least 4 recall trials (3 in immediate recall and 1 in delayed recall) in each condition. All the recall trials (approximately 500 for Stage 1 and 300 for Stage 2) were transcribed from

video recordings by two judges that were independent and blind to the objectives of the study. Then we examined 3 main measures of performance<sup>1</sup>.

As a first dependent variable, we identified the words recalled, distinguishing the exact correct words and the approximate words (for example verb derived from a noun, or a synonymous of a noun). We calculated a score for each trial by attributing one point for a correct word and 0.5 for an approximate one, and divided this score by the number of expected words. Then, to have one score of immediate recall (IR), we cumulated the scores of all trials completed during excerpt learning (before failure). For the delayed recall (DR) score, we did a percentage of the score of words recalled out of the expected words (i. e., words that have been learned).

The 2 subsequent dependent variables were only applied on the first 3 trials (i. e., first 4 lines)<sup>2</sup>, and averaging these 3 trials for the immediate recall score. To assess the effect of mode of recall, we calculated the ratio of words spontaneously sung out of the total of correct words recalled. The third variable concerned errors of intrusion. We distinguished 3 types of intrusion: (a) phonological errors, words that “sounds like” the target word (e. g., “joie” for “jouet”); (b) content words with semantic content no or few related with the excerpt (e. g., “soldat” (*soldier*) for “frère” (*brother*)); and (c) functional words (grammatical words without semantic content, as “et” (*and*), “qui” (*which*)...). For each of these 3 measures (and across them) we computed a ratio out of the total of words recalled (correct + errors).

Group comparisons and within-subject comparisons were performed using non-parametric tests. Friedman ANOVA (Friedman’s  $\chi^2$ ) was used for testing the global condition effect, and Wilcoxon ( $Z$ ) test for comparisons between conditions. Mann-Whitney ( $U$ ) test was used for comparisons between groups. Pearson Chi-Square (Pearson’s  $\chi^2$ ) was used for intra-individual comparisons. Spearman’s correlation allowed comparing experimental with neuropsychological / musical scores from the base-line.

## 4. Results

### 4. 1. Initial learning

**Words recalled.** AD learned on average 4 lines, while Controls learned the entire 8-lines. Differences between groups were significant ( $p < .001$ ) for most of our measures (percentage of words recalled, size of chunks, and percentage of intrusions) – except for the percentage of words produced in singing. Thus, we analyzed each group separately for each measure.

The cumulative percentage of words recalled in immediate recall for AD and Controls is presented in Figure 2 (top). With the Shadowing procedure, both groups showed a very similar pattern of results, with, as expected, the worst performance for the SungNF condition and better performance with familiar than non-familiar melodies. However, this pattern was not significant in Controls, and the only difference in the AD group concerned the inferiority of the SungLF\_Shadowing condition compared to the Spoken\_Shadowing one ( $Z = 2.38$ ,  $p < .05$ ). No difference was observed between Spoken and SungNF in the Hearing procedure, for either group. However, in AD participants, and contrary to our hypothesis, the Hearing conditions were better performed than the Shadowing ones ( $Z = 2.17$ ,  $p < .05$  for both Hearing versus both Shadowing conditions), specifically when contrasting the SungNF conditions (SungNF\_Shadowing versus SungNF\_Hearing,  $Z = 2.38$ ,  $p < .05$ ).

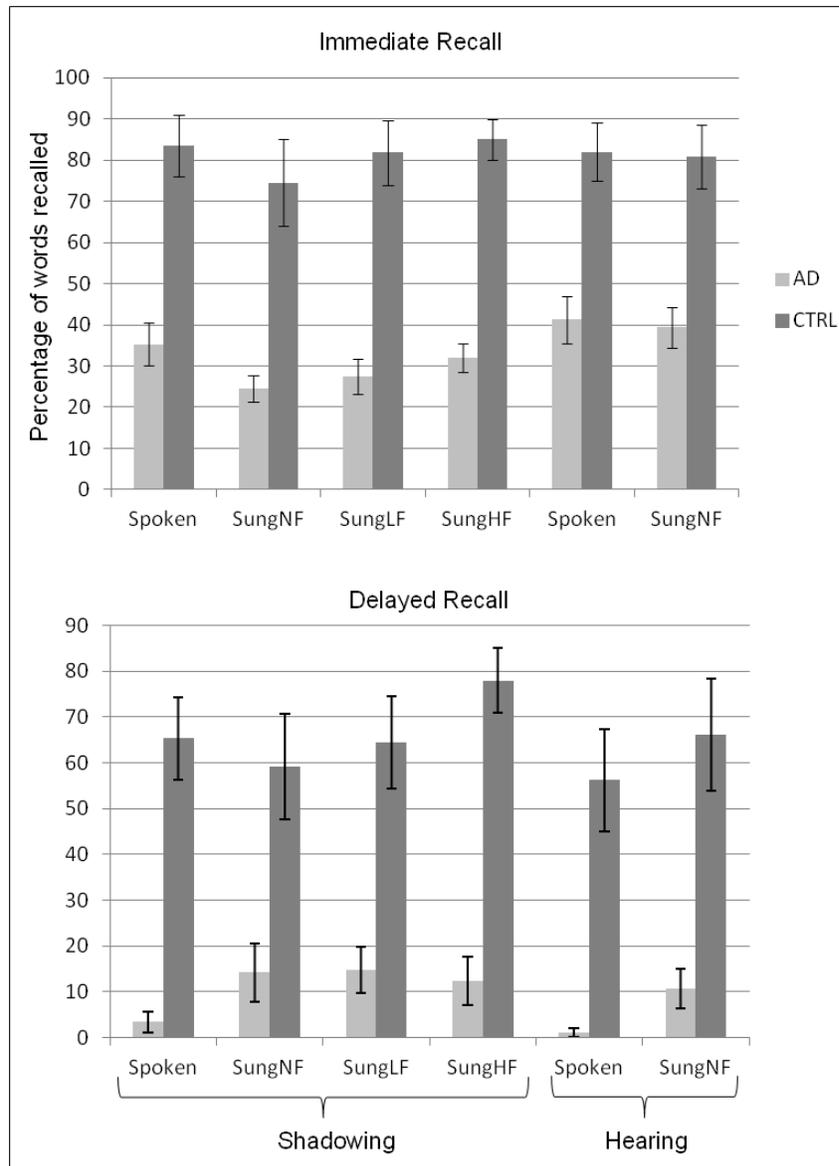


Figure 2. Percentage of words recalled depending on conditions in initial learning (stage 1), for immediate (up) and delayed (down) recall, for Controls (N = 7) and AD (N = 8). Error bars represents one standard error.

Percentage of words recalled (out of the total of words learned) for AD and Control groups in delayed recall (DR) are presented in Figure 2 (bottom). AD participants showed an effect of condition ( $\chi^2(5) = 11.35, p < .05$ ), mainly driven by the fact that the Spoken conditions are less well performed than the Sung ones. Wilcoxon comparisons showed that the Spoken\_Hearing condition was inferior to the three Sung conditions that are learned with the Shadowing procedure (SungNF\_Shadowing:  $Z = 2.02, p < .05$ ; SungLF\_Shadowing:  $Z = 1.99, p < .05$ ; and SungHF\_Shadowing:  $Z = 2.02, p < .05$ ). Also, the Spoken\_Shadowing condition was inferior to the SungLF\_Shadowing one ( $Z = 2.20, p < .05$ ). When considered independently of learning procedure, the Spoken conditions taken together were inferior to the SungNF ones ( $Z = 2.43, p <$

.05). Moreover, this effect was very robust across individuals: only two out of eight participants recalled a few words in the spoken conditions (not the same participants each time), while a majority recalled words when sung.

Controls also showed a main effect of condition in delayed recall ( $\chi^2(5) = 12.21, p < .05$ ). Comparisons highlight better performance for the SungHF\_Shadowing condition (compared to Spoken\_Shadowing:  $Z = 2.20, p < .05$ ; SungNF\_Shadowing:  $Z = 2.37, p < .05$ ; and Spoken A:  $Z = 2.37, p < .05$ ). Moreover, the Spoken\_Shadowing condition was superior to the Spoken\_Hearing one ( $Z = 2.20, p < .05$ ).

To summarize, Controls showed no effect of condition in immediate recall and best delayed recall for lyrics sung on the highly familiar melody (with, in DR, a preference for the Shadowing procedure for the Spoken condition). AD participants showed few effects in immediate recall with a tendency to be worse for the Sung conditions when learned with Shadowing procedure and a preference for the Hearing condition over the Shadowing one. The clearest result in AD is the inferiority of both Spoken conditions in delayed recall compared to all Sung conditions (independently of melodic familiarity).

**Mode of recall.** In general, controls recalled most sung words by singing them, while AD participants mostly recalled the lyrics by speaking (Figure 3). However, this difference was not significant. Note that the reverse seems to occur in delayed recall, with a slight tendency for AD participants to recall the lyrics more often in singing than did the controls. It was influenced by the learning procedure, with globally less sung words for Hearing learning (especially in DR, with no sung words for AD or Controls). It was also influenced by the familiarity of the melody in IR, with a tendency of more sung words with increasing familiarity, in both groups. However, there were too few observations to perform statistics<sup>3</sup>.

**Intrusions.** The most common error concerned the functional words (for example, addition of grammatical words as “which”, “the”), especially for the AD participants (14 %, versus 4 % in Controls). Both AD and Controls made few phonological intrusions (less than 2 % for AD and less than 1 % for Controls, for all conditions), and few semantically non-related ones (less than 4 % for AD and less than 1 % for Controls, for all conditions). In AD, Friedman ANOVA for all intrusions showed a tendency for differences between conditions in immediate recall ( $\chi^2(5) = 9.89, p = .078$ ), with more intrusions in both lyrics learned on familiar melodies. Notably, the SungLF condition led to the more important ratio of intrusions, compared to almost all other conditions (Spoken\_Shadowing,  $Z = 2.10, p < .05$ , SungHF\_Shadowing,  $Z = 1.82, p = .069$ , Spoken\_Hearing,  $Z = 2.24, p < .05$ , and SungNF\_Hearing,  $Z = 1.96, p < .05$ ). Nevertheless, fewer intrusions appeared for the Sung conditions (learned with Shadowing) in DR. No differences between conditions were observed for Controls for any recall.

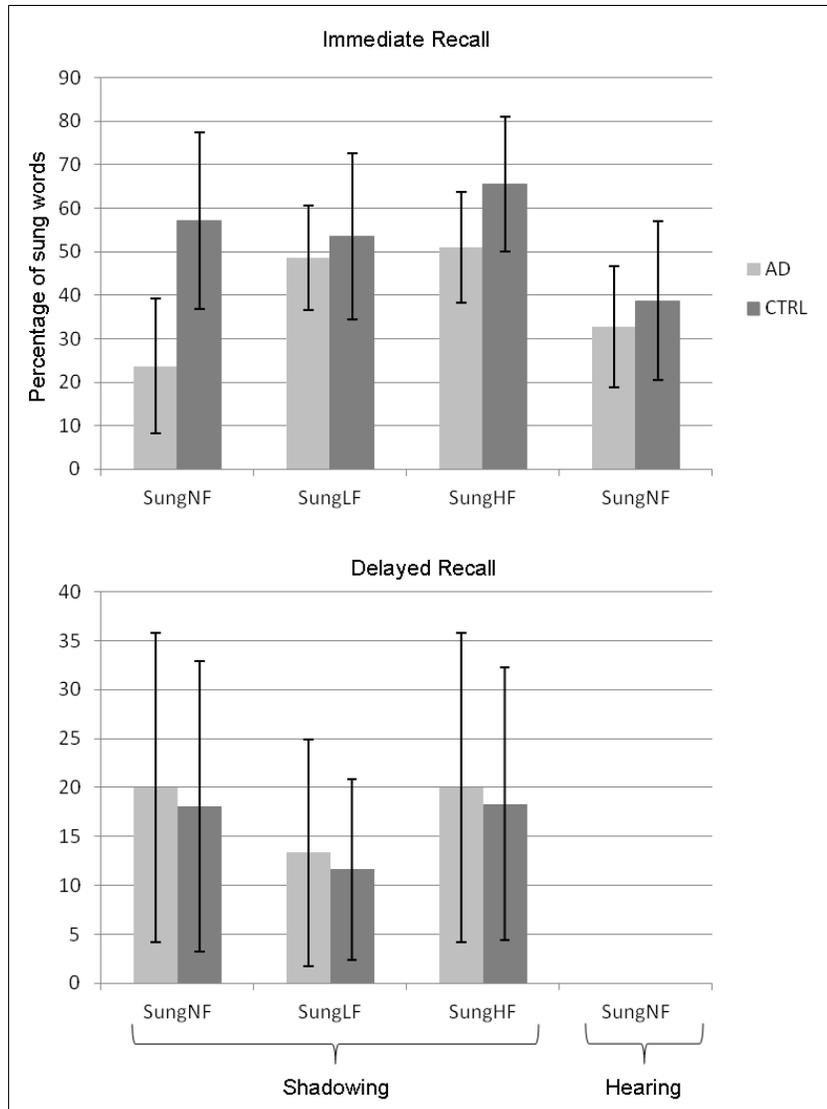


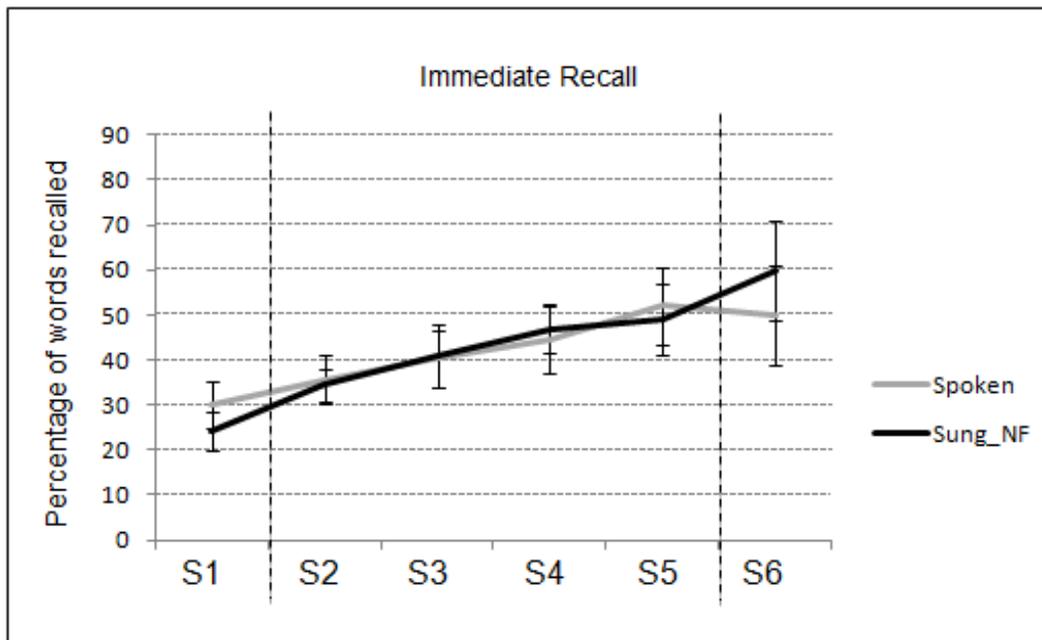
Figure 3. Percentage of words spontaneously sung out of words recalled depending on Sung conditions in initial learning, for immediate (up) and delayed (down) recall, for Controls (N = 7) and AD (N = 8). Error bars represents one standard error.

#### 4. 2. Repeated learning

In the repeated learning phase, 6 AD participants (5 in the very last session) learned the same SungNF and Spoken excerpts as learned initially, five times at weekly intervals. Thus, each of these two excerpts was learned 6 times in total: Session 1 (S1) corresponds to initial learning<sup>4</sup>, Sessions S2 to S5 correspond to the first four repeated learning sessions (with one week interval between each), and the very last Session (S6) occurred 4 weeks later (long-term re-learning). The delay between S1 and S2 could vary from two to four weeks.

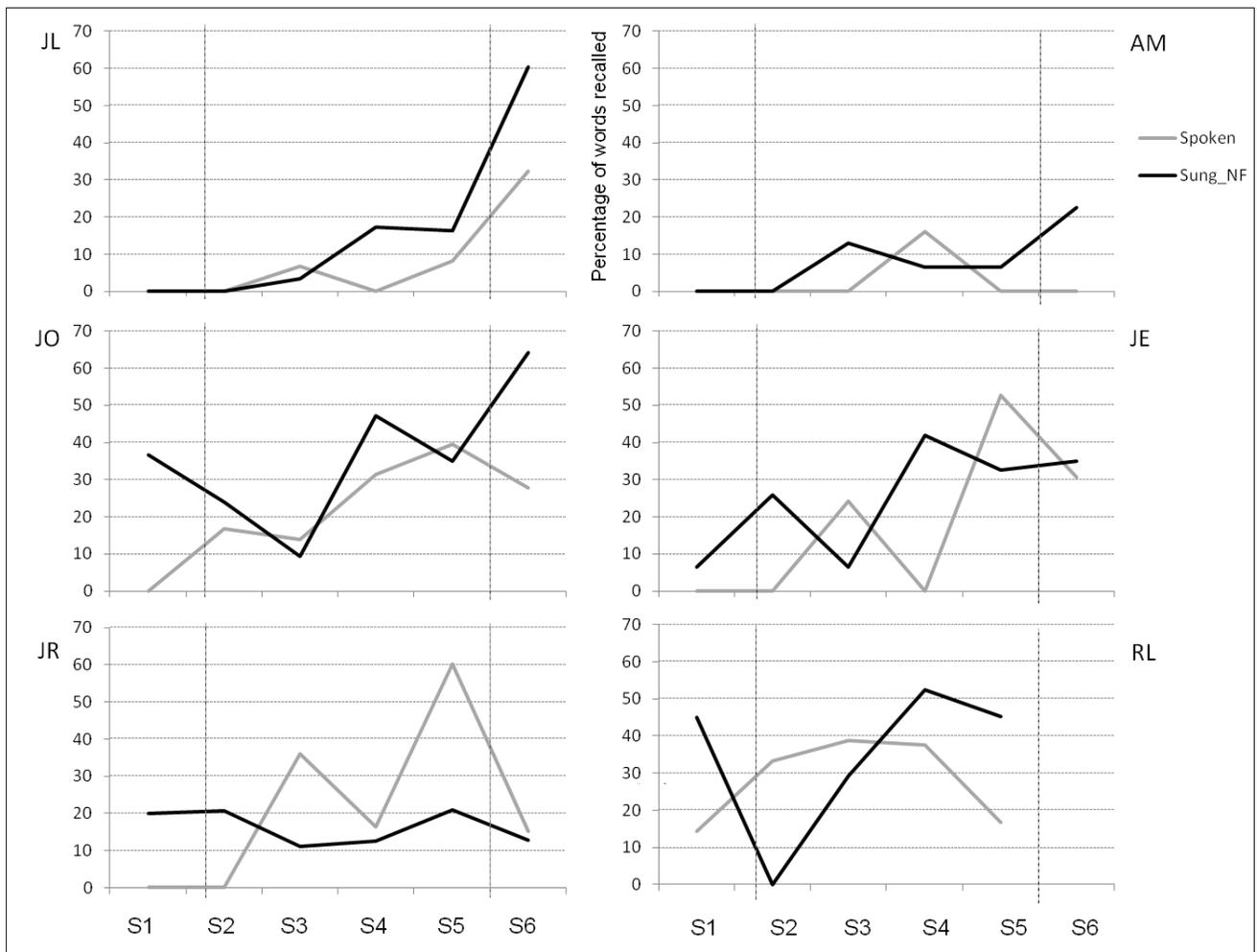
**Words recalled.** The number of learned lines increased over repeated learning sessions, for all participants but one (AM who could only learn the first 4 lines). JO even succeeded in learning the entire song (8 lines) when lyrics were sung. Percentage of words recalled in immediate recall (Figure 4) also increased across Sessions in both Spoken ( $\chi^2(5) = 14.20$   $p < .05$ ) and Sung ( $\chi^2(5) = 14.94$   $p < .05$ ) conditions. There was no effect of Condition. As can be seen in Figure 4, the Sung condition tended to be better than the Spoken one in the last session (S6), though the difference did not reach significance ( $p > .1$ ), and no statistical difference was observed between S5 and S6 for the Spoken nor the Sung condition.

It is important to note the variability across and within participants. Two of them (JO, RL) showed an advantage for the sung conditions while two others (JL, JR) tended to do better on spoken lyrics. Nevertheless, none performed better on the spoken lyrics than the sung ones in the last long-term session, while two of them (JL, JO) showed a significant advantage for the Sung condition compared to the Spoken one (respectively, Pearson  $\chi^2 = 12.28$ ,  $p < .001$ ; Pearson  $\chi^2 = 14.9$ ,  $p < .001$ ). Moreover, Sung lyrics showed better progression than Spoken ones between this last session and the previous session (before the 4-week delay) for 3 participants out of 5: JL, AM and JR (Pearson  $\chi^2 = 18.91$ , 9.36, and 4.8,  $ps < .05$ , respectively). Such an increase between S5 and S6 never happened for the Spoken condition.



*Figure 4.* Percentage of words recalled though sessions depending on Sung and Spoken conditions in repeated learning (stage 2) for immediate recall, for 6 AD participants (5 for the last session, S6). Error bars represents one standard error. Dotted lines represent the breaks (two to four weeks between S1 and S2; always four weeks between S5 and S6).

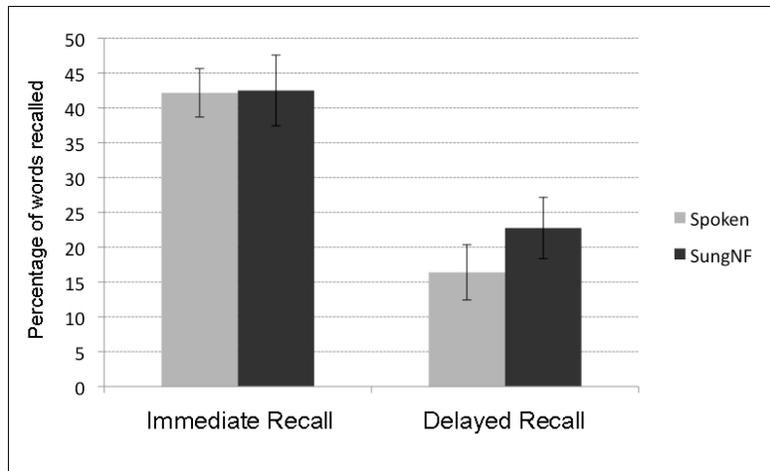
Delayed recall led to high variability across individuals and sessions (Figure 5). Thus, we analyzed each subject individually. An interesting tendency seemed to occur in the last session (S6). Out of the 5 participants that performed this session, the Sung condition was better than the Spoken one for AM (Fisher (one-tailed),  $p < .05$ ), JO (Pearson  $\chi^2 = 4.3$ ,  $p < .05$ ), and tangentially for JL. The reverse pattern was not observed in any participant.



*Figure 5.* Individual profiles of percentage of words recalled though sessions depending on Sung and Spoken conditions in repeated learning (stage 2), for delayed recall trials, for 6 AD participants. Dotted lines represent the breaks (two to four weeks between S1 and S2; always four weeks between S5 and S6).

Grouping all 6 learning sessions together for the same excerpt allows more data to be compared between spoken and sung recall. As can be seen in Figure 6, after immediate recall of an equivalent number of spoken and sung words, the AD patients showed better performance for the Sung condition over the Spoken one in delayed recall ( $Z = 1.84$ ,  $p = .065$ ).

To summarize, we observe a tendency for better consolidation of Sung than Spoken lyrics after 10 minutes and 4 weeks for most participants.



*Figure 6.* Percentage of words recalled, combined data of all learning sessions for Sung and Spoken conditions in immediate and delayed recall for 6 AD participants. Error bars represents one standard error.

**Mode of recall.** Although we observe an important variability across individuals, sung words in immediate recall increased across sessions ( $\chi^2(5) = 13.02, p < .05$ ).

All sessions taken together, we observed that participants sang around 35 % of words in immediate recall, and around 25 % in delayed recall ( $Z = 2.17, p < .05$ ). Moreover, we observed a significant correlation between the percentages of sung words and of words recalled in immediate recall when considering the 6 sessions together (Spearman  $\chi^2 = 0.46, p < .05$ ). This indicates that the more a participant was singing, the more words s/he was recalling.

**Intrusions.** Analysis of all types of intrusion errors in immediate recall showed no significant main effect of Condition nor Session, while we observed a tendency towards less intrusion in the last session for the Sung condition (compared to other Sung sessions S2, S3 and S5,  $Z = 2.02, p < .05$  for all three comparisons). While we have again too few data to perform statistics for the separate sessions in delayed recall, interesting observations came from the analysis of all 6 sessions considered together for immediate recall and delayed recall (Figure 6). Total number of intrusions showed more errors for the Spoken condition in delayed recall ( $Z = 1.68, p = .093$ ). However, the three different types of intrusion showed different pattern depending on time and/or condition. Analysis of phonological intrusions showed more intrusions for the Sung condition compared to the Spoken one in immediate recall ( $Z = 2.55, p < .05$ ) and delayed recall ( $Z = 2.02, p < .05$ ). Content-word intrusions showed more errors in the Sung condition in immediate recall ( $Z = 2.37, p < .05$ ; with a non significant tendency for the reverse pattern in DR). Functional-word intrusions showed more intrusions for the Spoken condition compared to the Sung one, both in immediate recall ( $Z = 2.57, p < .05$ ) and delayed recall ( $Z = 1.96, p < .05$ ).

To summarize, the sung condition led more to phonological errors (that is, participants produced wrong words that acoustically “sounded like” the real words). In contrast, participants added more grammatical words (i. e., without semantic content) in the Spoken condition.

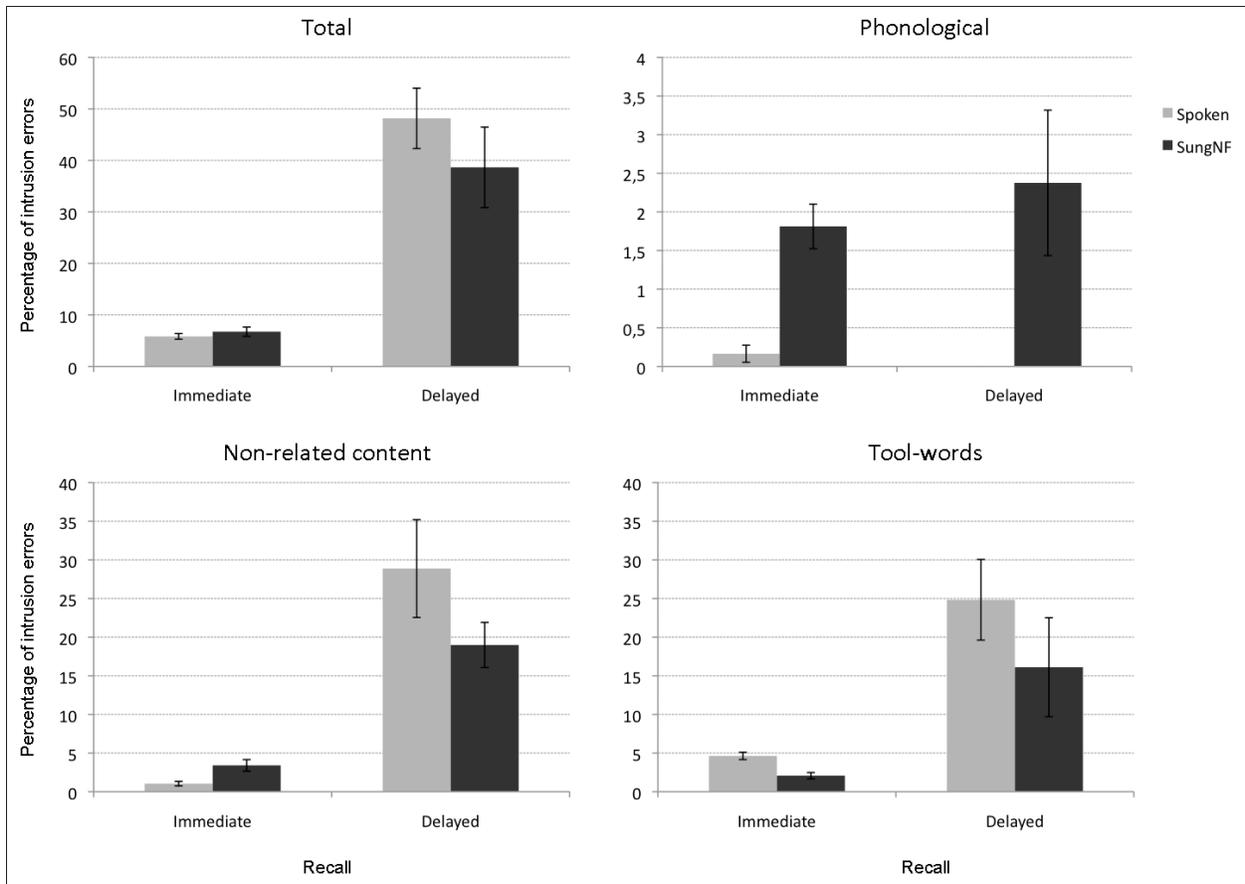


Figure 7. Percentage of intrusions depending of intrusion type (total, phonological errors, content word, functional words), combined data of all learning sessions for Sung and Spoken conditions in immediate and delayed recall for 6 AD participants. Error bars represents one standard error.

#### 4. 3. Correlation between experimental performance and base-lines measures

Correlation tests were performed to compare performance in the experimental tasks – especially the advantage for the Sung conditions over the spoken ones – with the cognitive and psychological profile measured in the first base-line (Table 3). In the Control group, better performance for Sung lyrics (i. e., subtraction of percentage of words recalled for the two Spoken conditions (Shadowing and Hearing) from the two corresponding SungNF ones) in immediate recall and delayed recall is positively correlated with recognition test of Rey’s 15 words (IR:  $r(5) = .80$ ; DR:  $r(5) = .76$ ), and recognition test of episodic memory for familiar tunes (test 2, IR:  $r(5) = .86$ , DR:  $r(5) = .81$ ). Moreover, spontaneously sung words during immediate recall are also positively correlated with recognition of Rey’s 15 words ( $r(5) = .85$ ) and episodic memory for music (test 1, non familiar tunes,  $r(5) = .93$ ); and, in DR, with episodic memory for music (test 2, familiar tunes,  $r(5) = .91$ ). Finally, Token test and the auditory task (repetition of sentences) are often correlated with performance in the experimental tasks, independently of conditions.

In the AD group, advantage for Sung lyrics in immediate recall (for all 6 sessions for the 6 participants involved in initial learning + repeated learning) is negatively correlated with musical

episodic memory (test 1, familiar melody,  $r(4) = -.85$ ). For DR, this is negatively correlated with verbal fluency (both semantic,  $r(4) = -.83$ , and phonological,  $r(4) = -.98$ ). Moreover, for all 6 sessions, spontaneously sung words during sung lyrics recall is correlated with musical experience (IR:  $r(4) = .88$ , DR:  $r(4) = .82$ ). It's also negatively correlated with in RD with MMSE ( $r(4) = -.82$ ), Rey's 15 words recognition ( $r(4) = -.84$ ), story immediate and delayed recall ( $r(4) = -.95$ ;  $r(4) = -.92$ ).

Table 3

*Correlations between experimental results and neuropsychological and musical assessments. Reported correlations are significant at .05. We considered initial learning for Controls and all sessions together for AD (degree of freedom for Controls = 5; for AD = 4).*

		Cognitive level	Verbal memory		Fluency		Episodic memory for music			Musical abilities	
		MMSE	15 words (recognition)	Story (immediate recall)	Story (delayed recall)	Semantic	Phonological	fam tunes, test 1	fam tunes, test 2	non fam tunes, test 1	musical experience
AD											
Advantage for sung lyrics	IR							$r = -.85$			
	DR					$r = -.83$	$r = -.98$				
Spontaneous singing in recall	IR										$r = .88$
	DR	$r = -.82$	$r = -.84$	$r = -.93$	$r = -.92$						$r = .82$
Controls											
Advantage for sung lyrics	IR		$r = .80$					$r = .86$			
	DR		$r = .76$					$r = .81$			
Spontaneous singing in recall	IR		$r = .85$							$r = .93$	
	DR							$r = .91$			

#### 4. 4. Post-test base-line

AD participants showed better scores in the post-test (compared to pre-test) for Rey's 15 words in the free recall trials ( $p < .05$ ), and for memory of story in immediate recall ( $p < .05$ ). Controls participants showed also an increased performance in post-test in immediate recall of story ( $p < .05$ ). They also showed a better score in the well-being scale ( $p < .05$ ). No other improvement, nor loss, was noted.

#### 5. Discussion

This study investigated, in normal aging and Alzheimer's disease (AD), learning and retention (after 10 minutes) of lyrical excerpts depending on their spoken or sung presentation, with different degrees of melodic familiarity when it was sung and different learning procedures. Moreover, we manipulated the number of exposures and long-term delay of retention (4 weeks) in AD participants. The results are broadly consistent with the notion that at melody and lyrics represent a dual task at initial encoding, but their conjunction helps long term retention. Indeed, the main finding is that presenting lyrics in a singing (compared to speaking) mode seems to not clearly influence performance of participants during learning (immediate recall), but increase

retention of learned information as soon as 10 minutes later (delayed recall) in initial recall for AD and Controls, and tends to increase retention in AD after 4 weeks.

For the initial learning of lyrical excerpts, both AD and Control groups showed a very similar pattern of performance in immediate recall, despite important quantitative differences between groups reflecting the cognitive impairment of AD. While we sometimes miss statistical significance, probably because of small samples of participants and large variability in some of the conditions, we globally observed that the non-familiar (and low familiarity) melody led to worse scores than highly familiar sung or spoken conditions. In other words, if lyrics are sung, it should be on a melody that is already familiar to the participant if the goal is to promote memory for those lyrics. This replicates our previous case study (Moussard, Bigand, et al., in press) and is consistent with some data in young adults (e. g., Purnell-Webb & Speelman, 2008). This is also consistent with the theoretical hypothesis of dual representations in memory for lyrics and melody (Racette & Peretz, 2007). Indeed, participants recalled more often sung lyrics while speaking, instead of singing, showing that both elements can be (more easily) processed independently, at least in the first steps of learning. Thus, encoding of these two components is slow and demanding making their respective recall less accurate than their separate recall. Using an already familiar melody may decrease this dual learning, allowing more resources for encoding material. This is confirmed by the observation of a greater percentage of spontaneous singing in recall when increasing the level of melodic familiarity for the AD participants.

Nevertheless, our results also indicate that associating the components during learning may make the memory trace more robust. Indeed, the global pattern of performance showed better performance (for most of our measures: words recalled, size of chunks and intrusions) for the Sung conditions over the spoken conditions in delayed recall (i. e., 10 minutes after learning). In particular, AD participants showed very poor recall of spoken words in delayed recall of initial learning, compared to the Sung conditions (independently of the familiarity of the melody), and this effect was very robust across individuals. Controls were globally less influenced by the different conditions; nevertheless, they also showed better scores (as shown in words recalled and size of chunks) for the lyrics sung on the high familiar melody in delayed recall.

These findings suggest that the musical component may enhance consolidation of lyrics, and are consistent again with literature on young adults and case study with JL (Moussard, Bigand, et al., in press). A consideration for future studies is that contrasting different delays between learning and recall is relevant when testing memory tasks, because the effect could be different between encoding and long-term retrieval. This consolidation of information is that which we care most about from a clinical point of view.

AD patients improved their recall upon successive learning episodes, thereby suggesting that AD individuals remain able to form new memories, even if they require more trials and remain less efficient than controls. However, contrary to our hypothesis, performance for both Spoken and Sung materials did not clearly differ over these successive learning sessions, showing the same rate of progression. We may understand this considering the memory impairment of AD participants, which may limit the benefit that melody could provide. It would therefore be interesting to test this question with Controls but with more stimuli to avoid ceiling effect. The only notable effect for the condition comparison was a slightly better performance for the sung condition compared to the spoken one in the last re-learning session (after the 4-week delay), but this effect was not significant for immediate recall, and the significance reached for delayed recall may be questionable because of the variable level of delayed recall across

sessions. Nevertheless, the Spoken condition never surpasses the Sung one. This would confirm the hypothesis of better consolidation for the musical condition.

A question raised by these findings is why music helped acquisition of new verbal lyrics, when it did. Binding between lyrics and melody seems critical. The correlation between mode of recall and the score of words recalled (i. e., the more participants sang, the more they recalled) suggests that this binding, when effective, may enhance performance in immediate recall. This replicates the results of Calvert et al. study (1993), where participants not only sang more as the number of exposures to the excerpts increased, but also those who sang more during recall were those who had the best scores for lyrics recall.

Much remains to be investigated in the role played by music in improving memory. Further study will be required to understand if a similar facilitation would be observed if lyrics were associated with another stimulus type, such as gestures or pictures. However, music may be more appropriate. First, music's arousing component can improve general motivation and efficiency of cognition (see Latendresse et al., 2006, for a review). Most participants enjoyed our sessions and we incurred only slight attrition due to refusal (only one participant did not wish to take part to the second phase of the study). Second, the emotional content of music can improve memorization (see for example, Eschrich et al., 2008; Jäncke, 2008; and Samson et al., 2009 for evidence in patients with memory disorder). Third, and more specifically related to music for lyrics learning, we can argue that music and language seem to share a number of resources, as shown with the anatomical and functional overlap observed in neuroimaging and behavioural studies (Patel, 2008), that might help memory for songs by enhancing connexions between lyrics and melody. Furthermore, the surface characteristics of both materials present similarities, such as their temporal and hierarchical structure, that can make them a good match. Thus melody may aid the learning of lyrics by providing cues for the lyrics' structure (such as the number of syllables per line) and limit the possible choices among the words that can be set to the melody (Wallace, 1994). Analysis of intrusions committed by AD participants suggests that the sung condition is related with surface characteristics (sound) of the excerpt to be memorized, rather than its semantic content. Indeed, participants produced more functional-word intrusions (that change the acoustical structure, adding a syllable for example) in the spoken condition, while they made more phonological mistakes (that change the semantic content but preserve the "sound" of the lyrical excerpt) in the sung condition.

Another argument to propose that music represents an efficient material to support verbal learning in AD is that AD individuals seem to learn new musical information better than verbal ones. For example, one study has shown specific consolidation for musical stimuli in moderate to severe Alzheimer's patients: after multiple exposures (eight sessions over two weeks) to instrumental pieces or poems, the patients showed a feeling of familiarity for both kinds of stimuli, but after a two-month delay, familiarity was only present for the musical material (Samson et al., 2009). Further evidence comes from the absence of difference between AD and Controls in recognition of novel tunes after 3 presentations performed in a baseline: with enough exposures to these melodies, AD participants were able to create new musical memories as normal Controls did. This preserved feeling of familiarity for music could trigger recall of associated information, as lyrics.

Concerning the learning procedure, we observed that shadowing seemed to aid Control but be more detrimental for AD (especially in immediate recall). In Controls, shadowing may have helped learning by providing a multimodal, auditory-motor, encoding which contributes to the robustness of a memory trace (Brown & Palmer, 2012). Moreover, this procedure was associated

with further spontaneous singing during recall, which may suggest that it has supported binding between lyrics and melody during encoding.

In AD, complexity (in material or procedure, as in dual coding) could load memory and/or distract participants in initial learning (Fowler et al., 2002). This is also consistent with the results we obtained with a similar design that aimed to teach gestures with or without music, and with or without synchronous production of them during encoding (Moussard, Bigand, Belleville, & Peretz, in preparation).

Some limitations remain to be overcome in making these findings more relevant to clinical interest. First, even when music helps, the size of the effect remained small, and performance of AD participants (even in the best conditions) was still far from that of Controls. Further studies should investigate how we could maximize the effect by minimizing attentional load during encoding, or by encouraging a better binding between lyrics and melody. For example, we could pair semantic content of lyrics with acoustical characteristics (for example, higher pitch to evoke birds) in order to reinforce the link between both elements.

Second, results showed an important variability across individuals, especially in AD during repeated learning sessions, for both words recalled and sung words. Thus, it would be relevant to determine which persons would incur the greatest benefit from singing the verbal information to be memorized. For that purpose, we tried to characterize the cognitive and musical profiles of participants and to correlate it with the experimental tasks. While we must be cautious with these correlations because of our small samples of participants, some interesting results were discovered nonetheless. For Controls, the advantage for the Sung conditions, as well as spontaneous singing during recall, was associated with better long-term verbal memory capabilities. This could be related to the more important resource that both elements demanded. Consequently, those who have these resources are more able to bind them together and benefit from the sung condition. Surprisingly, when the advantage for Sung condition was correlated with cognitive abilities in AD, the correlation was negative. Negative correlation with verbal memory could be explained by the fact that music may help to compensate for more impaired individuals. Interestingly, advantage for Sung condition was negatively correlated with verbal fluency (for both phonological and semantic ones). Music may provide a support that facilitates production and therefore verbal cueing for participants that who have poor lexical access. This is consistent with theories that explain memory impairment in aging by a decrease of executive functions (e. g., Bugajska et al., 2007). The melodic component could trigger the access to the lyrics, compensating for weakness of active retrieval strategies.

Third, an encouraging finding is that we observed that 6 weeks of non-specific training (i. e., no strategy was taught) may lead to positive transfer effects. Measures of verbal memory (in immediate recall) for lists of words and for stories spontaneously increased in AD – and in Controls for stories – after 12 sessions (through 6 weeks) of various memory and/or musical exercises. Without a control (placebo) group, we cannot conclude that this effect is related to the stimulation during sessions (rather than a simple test-retest effect). But it is interesting to note that working memory or general cognitive level did not increase in post-test, suggesting a specific improvement of verbal memory. Also noteworthy is that Controls showed a higher score in a well-being scale, underlying a psychological benefit of cognitive stimulation. Nevertheless, the beneficial effect of singing to-be-memorized information may remain more important for trained material. Thus, we could use this procedure for more ecologically-valid aims, and imagine for example using a singing method to teach specific information to patients (e.g. how to use the DVD-player or to memorize an important telephone number).

## 6. Acknowledgment

We wish to thank Amélie Racette and Sylvie Hébert for the material. We thank also Emilie Lepage (IUGM), and the Alzheimer Society of Montreal for recruitment of the Alzheimer's disease participants, Nadia Jaffer (IUGM) for recruitment of Controls, and above all, the 15 participants for their implication in the study.

The first author holds a fellowship from the Sciences and Engineering Research Council of Canada, Collaborative Research and Training Experience program (NSERC-CREATE) in Auditory Cognitive Neuroscience training grant. Preparation of this paper was also supported by grants from Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC), the Canadian Institutes of Health Research (CIHR) to I. Peretz and S. Belleville, and from a Canada Research Chair to I. Peretz.

## 7. Footnotes

<sup>1</sup> We also analyzed the size of chunks for words recalled. However, it showed no clear influence of conditions in initial learning for any group. In AD, all repeated learning sessions taken together, chunks are bigger for the Sung condition compared to the Spoken one in delayed recall ( $Z = 2.41$ ,  $p < .05$ ), suggesting a better consolidation of organization of words in lyrical excerpt when learned in singing, while the size of the effect remain small (about 1.8 words per chunks in average for the Spoken condition against only 2.5 for the Sung one).

<sup>2</sup> Because of the adaptive procedure, the task stops or goes on depending on the number of words recalled. A problem resulting from this procedure is that the 3 other measures (sung words, organization of words, and intrusion errors) could be influence by the measure of words recalled. For example, when a participant learn more lines, the task become more difficult and he has more chance to do mistakes with place of words; in that case, his score of well-placed words will be decrease only because he was better for recalling words, and then go more far in the task. To avoid this contamination of measures and control for a same difficulty level for these 3 measures, we applied them only for the first 3 trials (so for the learning of the first 4 lines) that are always completed by all participants.

<sup>3</sup> As the scores of words recalled in singing, size of chunks and intrusions are calculated out of words recalled, we have too few observations in delayed recall for the AD group to perform statistics.

<sup>4</sup> Note that results of S1 (initial learning, stage 1) can differ slightly from the previous results of stage 1 because scores were recalculated with the 6 AD participants that took part of the repeated learning stage (stage 2), while 8 AD participants performed the stage 1.



---

# Article 3 : Utiliser la Musique pour Apprendre une Séquence de Gestes dans le Vieillessement Normal et la Maladie d'Alzheimer

---

Aline Moussard<sup>1,2</sup>, Emmanuel Bigand<sup>2</sup>, Sylvie Belleville<sup>3</sup> & Isabelle Peretz<sup>1</sup>

1. International Laboratory for Brain, Music and Sound Research (BRAMS), Université de Montréal, Canada.

2. Laboratoire d'Étude de l'Apprentissage et du développement (LEAD – CNRS UMR 5022), Université de Bourgogne, France.

3. Centre de Recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal, Université de Montréal, Canada.

Titre court : Musique et Mémoire Gestuelle dans le Vieillessement et la Maladie d'Alzheimer

## 1. Résumé

Cette étude s'intéresse pour la première fois au potentiel de la musique comme support de nouveaux apprentissages gestuels dans le fonctionnement mnésique normal et pathologique. Des participants atteints de la maladie d'Alzheimer (MA) et âgés sains (Contrôles) apprennent des séquences de gestes sans signification qui sont accompagnées de musique ou de silence (avec métronome). D'autre part, l'apprentissage est effectué selon deux procédures, impliquant ou non la production des gestes en synchronie avec le modèle. Les résultats montrent des patrons de performances différents pour les deux groupes de participants. Globalement, l'accompagnement musical n'a pas d'effet sur les performances des Contrôles, mais améliore celles des participants MA. Inversement, la production synchronisée lors de l'encodage améliore les performances des Contrôles, mais semble interférer avec celles des MA. Nous proposons différentes pistes visant à expliquer ces différences et maximiser les effets de l'association musicale pour la mémorisation de séquences de gestes.

*Mots-clés:* Musique ; Mémoire ; Motricité ; Maladie d'Alzheimer ; Vieillessement ; Imitation ; Gestes.

## 2. Introduction

La musique est souvent considérée comme un moyen mnémotechnique pouvant faciliter l'acquisition de nouvelles informations. Cependant, très peu d'études ont testé cette question chez des personnes âgées et / ou atteintes de démence, et toutes concernent la mémoire verbale (Moussard, Bigand, et al., sous presse ; Prickett & Moore, 1991 ; Simmons-Stern et al., 2010). Avec une tâche de reconnaissance, Simmons-Stern et collaborateurs (Simmons-Stern et al., 2010) ont montré que des paroles chantées étaient mieux mémorisées que des paroles récitées dans un groupe de 12 patients en stade léger de Maladie d'Alzheimer (MA ; MMSE moyen : 24/30) – mais cet effet n'est pas significatif chez les participants Contrôles. Avec une tâche de rappel libre, l'étude de Moussard et collaborateurs (Moussard, Bigand, Belleville, & Peretz, en préparation), menée chez 8 participants MA en stade léger (MMSE moyen : 25.3/30) et 7 Contrôles, ne montre pas d'effet – voire un effet délétère – de la condition musicale lors de l'apprentissage de paroles récitées ou chantées en rappel immédiat. Par contre, en rappel différé (10 minutes après l'apprentissage), la rétention est meilleure pour les extraits chantés chez les participants MA, ainsi que chez les Contrôles lorsque les extraits sont chantés sur une mélodie familière. Les auteurs proposent que le double codage (mélodie et paroles) surcharge l'encodage, mais, une fois effectué, favorise la consolidation de la trace mnésique et sa récupération à long terme.

À notre connaissance, aucune étude n'a mesuré l'impact d'un accompagnement musical sur la mémorisation d'une séquence de gestes. Pourtant, de forts liens entre musique et motricité ont été mis en évidence. Par exemple, la simple écoute musicale active les aires motrices (Brown & Martinez, 2007a; Zatorre et al., 2007), d'autant plus si ces pièces sont familières (D'Ausilio et al., 2006). Certains extraits musicaux favorisent la tonicité du corps et l'amélioration spontanée de la posture (Forti et al., 2010), y compris dans la démence où elle contribue à lutter contre l'apathie (Cevasco & Grant, 2003; Holmes et al., 2006). Les études en neuroimagerie ont montré que la musique est un vecteur de plasticité cérébrale au niveau des zones motrices chez les musiciens experts, ainsi qu'après un entraînement à plus court terme chez les non musiciens (voir Pantev & Herholz, 2011, ou Wan & Schlaug, 2010, pour revues). De plus, des effets de transfert d'un entraînement musical à des fonctions motrices plus générales ont été mis en évidence chez des musiciens : ils imitent par exemple des gestes avec plus de justesse et de finesse que les non musiciens (Spilka et al., 2010).

La composante rythmique de la musique semble être un élément clé dans ses liens avec la motricité. Suivre un rythme est une habileté très robuste d'un individu à l'autre (Patel et al., 2005), et cette habileté de synchronisation est davantage liée à la modalité auditive (que visuelle, par exemple, Patel et al., 2005; Repp & Penel, 2004). Dans le domaine clinique, la synchronisation auditivo-motrice est utilisée pour favoriser l'automatisme de la production du mouvement chez des patients atteints de la maladie de Parkinson (voir Lim et al., 2005, pour revue) ou dans l'aphasie avec apraxie de la parole (Racette et al., 2006; Sparks & Holland, 1976). Dans l'étude de Racette et collaborateurs, le chant – et non la parole – produit à l'unisson avec un modèle améliore la production de phrases chez des patients aphasiques. La spécificité pour le matériel musical observée dans l'étude de Racette et collaborateurs (2006) peut être expliquée par le fait qu'un plus grand nombre d'indices de synchronisation est disponible dans la version chantée comparativement à la version discursive, le rythme musical étant plus riche que le rythme linguistique.

Ainsi, si la musique est d'une part susceptible de soutenir la mémoire verbale chez des personnes âgées ou en stade léger de MA, et d'autre part un moyen de faciliter l'activité motrice, elle peut représenter un support intéressant pour l'apprentissage de nouvelles informations gestuelles. Dans cette étude, nous testons plus particulièrement deux questions :

(1) Est-il préférable d'apprendre et mémoriser une série de gestes en musique ou en silence ? Nous comparons l'apprentissage d'une série de gestes en fonction de deux conditions d'accompagnement : musical, et silencieux avec métronome. Pour la condition musicale, nous choisissons une musique dansante de style familier pour les participants (folklore traditionnel). Dans la condition silencieuse, le métronome permet de maintenir une cadence d'enchaînement des mouvements similaire à celle de la condition musicale. L'accompagnement (musical ou métronome) est proposé à nouveau lors de la tâche de rappel libre, en rappel immédiat (RI) et différé (RD). Nous attendons de meilleures performances dans la condition musicale, particulièrement après consolidation (en RD).

(2) L'apprentissage et la rétention sont-ils favorisés par une procédure utilisant la réalisation synchrone des gestes avec le modèle pendant l'encodage ? Les séquences de gestes sont apprises selon deux conditions de reproduction des gestes à mémoriser lors de l'encodage : en synchronie avec l'expérimentateur (après une observation, et avant de l'effectuer seul ensuite), ou seul (après deux observations des gestes réalisés par l'expérimentateur afin de maintenir un nombre d'expositions aux gestes constant pour les deux conditions). Nous émettons l'hypothèse que la réalisation des gestes en synchronie facilite l'apprentissage et la rétention (RI et RD) des séquences, en particulier lorsqu'elles sont accompagnées de musique.

Les mêmes effets sont attendus pour les deux groupes de participants âgés avec et sans démence. Il se peut cependant que les bénéfices observés dans les conditions les plus favorables soient moins marqués chez les participants MA, la présence de musique ou l'apprentissage en synchronie pouvant perturber davantage l'encodage compte tenu de leurs ressources cognitives (attention et mémoire de travail) moins importantes.

Chaque participant apprend 4 séquences de gestes différentes, une pour chaque condition expérimentale : (1) musique et reproduction seul (Mus\_Seul) ; (2) musique et reproduction en synchronie (Mus\_Sync) ; (3) métronome et reproduction seul (Métron\_Seul) ; (4) métronome et reproduction en synchronie (Métron\_Sync).

### **3. Méthodologie**

#### **3.1. Participants**

Quinze participants ont été recrutés pour cette recherche : 8 personnes atteintes de la MA en stade léger (MMSE moyen = 25.2/30, min = 23, max = 27), et 7 personnes Contrôles appariées en âge et niveau de scolarité. Tous les participants ont signé un formulaire d'information et de consentement, validé par le Comité d'Éthique de la Recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal. Une personne du groupe contrôle a été exclue car elle n'a pas passé toutes les conditions de l'expérience.

Les personnes avec MA répondent tous aux critères de démence de type Alzheimer du DSM-IV et aux critères de maladie d'Alzheimer probable du NINCDS-ADRDA (American Psychiatric Association (APA), 1994; McKhann et al., 1984). L'évaluation neuropsychologique (Table 1) révèle que les performances des participants MA sont équivalentes à celles des Contrôles en mémoire de travail (empan de chiffres endroit et envers), attention soutenue (TEA,

sous-test «Elevator counting», Robertson et al., 1994), et pour les praxies idéomotrices (imitation de 12 gestes sans signification). Par contre, elles sont significativement inférieures pour les mesures de niveau cognitif global (MMSE, Folstein et al., 1975) et de mémoire verbale (15 mots de Rey, 1970), ainsi que pour la mesure de langage (Token test, De Renzi & Vignolo, 1962). Les deux questionnaires concernant l'état psychologique (GDS, Yesavage et al., 1983 ; et Echelle de bien-être, Bravo, Gaulin, & Dubois, 1996) montrent une tendance non significative pour un indice de dépression plus élevé et de bien-être moins élevé chez les participants MA.

Table 1  
Évaluation neuropsychologique.

Les astérisques représentent les différences tendancielle ou significatives entre les patients et les contrôles (\* =  $p < .1$  ; \*\* =  $p < .05$  ; \*\*\* =  $p < .01$ ).

	Sexe	Age	Scol.	Niveau cognitif	Mémoire verbale (15 mots de Rey)		Mémoire à court terme / de travail		Attention	Langage	Praxies	Etat psychologique	
					F/M	(années)	MMSE /30	Somme des 5 rappels libres/75				Reconnaissance /15	Empan chiffres (endroit)
<b>MA</b>													
HD	F	79	9	23	25	9	5	3	7	40	12	2	80
JO	M	77	17	23	12	2	5	3	6	29	11	0	84
JL	F	67	7	25	32	12	5	5	7	39	12	1	84
AM	F	84	12	25	22	8	7	4	6	32	12	7	54
JE	M	77	7	26	22	9	5	3	7	36	10	17	39
JR	M	79	16	26	17	7	6	4	7	42	12	5	69
RL	M	76	9	27	32	13	5	4	7	37	11	9	64
HU	F	83	16	27	19	4	6	5	7	35	11	6	94
<b>Moyenne</b>		<b>77.8</b>	<b>11.6</b>	<b>25.2 ***</b>	<b>22.6 ***</b>	<b>8 **</b>	<b>5.5</b>	<b>3.9</b>	<b>6.8</b>	<b>36.3 **</b>	<b>11.4</b>	<b>5.9</b>	<b>71</b>
<b>E.-t.</b>		<b>5.2</b>	<b>4.2</b>	<b>1.6</b>	<b>7</b>	<b>3.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.5</b>	<b>4.3</b>	<b>0.8</b>	<b>5.5</b>	<b>18.2</b>
<b>CTRL</b>													
RJ	F	77	15	28	63	15	5	4	7	44	11	1	85
RD	M	65	11	29	51	15	6	5	7	44	11	3	92
AL	F	70	15	29	62	15	5	4	7	43	12	1	68
LA	M	84	9	29	43	8	7	5	7	42	12	1	87
CB	F	70	8	30	45	12	5	4	7	36	11	4	79
MA	F	82	14	30	61	15	6	4	7	44	12	2	87
<b>Moyenne</b>		<b>74.7</b>	<b>12</b>	<b>29.2</b>	<b>54.2</b>	<b>13.3</b>	<b>5.7</b>	<b>4.3</b>	<b>7</b>	<b>42.2</b>	<b>11.5</b>	<b>2</b>	<b>83</b>
<b>E.-t.</b>		<b>7.5</b>	<b>3.1</b>	<b>0.8</b>	<b>9</b>	<b>2.9</b>	<b>0.8</b>	<b>0.5</b>	<b>0</b>	<b>3.1</b>	<b>0.5</b>	<b>1.3</b>	<b>8.5</b>

L'évaluation des habiletés auditives et musicales (Table 2) montre des performances équivalentes pour les MA et les Contrôles pour le test d'audition (répétition de phrases), dans les tâches de perception musicale (MBEA, sous-tests Echelle (*Scale*), Intervalles et contours, et Rythme, tirés de Moussard, Bigand, et al., sous presse), et en reconnaissance de familiarité mélodique (jugement de la familiarité d'extraits instrumentaux, Samson et al., sous presse). Les sujets MA sont également aussi performants que les Contrôles pour discriminer les émotions musicales représentant la joie, la tristesse et la peur (extraits issus de Vieillard et al., 2008). Les deux groupes de participants ne diffèrent pas en expérience musicale (questionnaire d'expertise musicale, Ehrlé, 1998) et aucun sujet n'est musicien professionnel.

Table 2  
*Évaluation auditive et musicale.*

	Test auditif	Expertise musicale	MBEA (adaptée du test pour enfants)			Familiarité mélodique	Reconnaissance d'émotions musicales (% correct)		
	Répétition de phrases/24	Questionnaire /27	Echelle /20	Interv/Contour/20	Rythme /20	Reconnai-ssance/8	Joie	Tristesse	Peur
<b>MA</b>									
HD	23	4	16	15	14	7			
JO	21	7	18	17	18	7	81.3	18.8	25
JL	23	4	18	14	16	8	81.3	62.5	56.3
AM	22	6	19	20	18	8	93.8	56.3	43.8
JE	24	3	19	19	19	7	31.3	6.3	31.3
JR	23	9	18	19	19	8	93.8	37.5	43.8
RL	23	3	17	18	17	6	93.8	43.8	25
HU	24	10	19	20	19	8	100	43.8	18.8
<b>Moyenne</b>	<b>22.9</b>	<b>5.8</b>	<b>18</b>	<b>17.8</b>	<b>17.5</b>	<b>7.4</b>	<b>82.1</b>	<b>38.4</b>	<b>34.8</b>
<b>E.-t.</b>	<b>1</b>	<b>2.7</b>	<b>1.1</b>	<b>2.3</b>	<b>1.8</b>	<b>0.7</b>	<b>23.5</b>	<b>20</b>	<b>13.4</b>
<b>CTRL</b>									
RJ	24	5	18	16	18	8	100	56.3	25
RD	23	4	20	20	20	8	56.3	31.3	62.5
AL	23	3	18	19	18	5	87.5	50	50
LA	22	3	18	17	18	6	93.8	43.8	68.8
CB	23	4	17	14	15	4	81.3	25	43.8
MA	24	7	17	14	20	8			
<b>Moyenne</b>	<b>23.2</b>	<b>4.3</b>	<b>18</b>	<b>16.7</b>	<b>18.2</b>	<b>6.5</b>	<b>83.8</b>	<b>41.3</b>	<b>50</b>
<b>E.-t.</b>	<b>0.8</b>	<b>1.5</b>	<b>1.1</b>	<b>2.5</b>	<b>1.8</b>	<b>1.8</b>	<b>16.9</b>	<b>13</b>	<b>17.1</b>

### 3. 2. Matériel et procédure

**Gestes.** Douze gestes différents, impliquant des mouvements simples et sans signification des bras, des jambes, de la tête et du tronc, ont été choisis avec l'aide d'une professionnelle de la santé en physiothérapie. Ils sont effectués dans une position assise et sécuritaire (Figure 1 a, pour une illustration). Quatre séquences de gestes sont effectuées avec la combinaison aléatoire de 10 de ces 12 gestes. Les douze gestes sont effectués lors d'une séance préalable pour s'assurer qu'ils sont réalisables sans difficulté par les participants. En cas d'incapacité ou d'inconfort, le geste problématique est remplacé par l'un des deux gestes supplémentaires, prévus à cet effet.

**Accompagnement.** Deux extraits musicaux sont choisis dans le répertoire de musique folklorique traditionnelle québécoise (Rigodon). Tous deux ont la même instrumentation et un rythme très similaire. Ils sont répartis aléatoirement pour chaque sujet dans chacune des deux

conditions musicales (avec et sans reproduction en synchronie à l'encodage). Un bip sonore est ajouté afin de souligner le moment du changement de geste (tous les 4 temps). Le même bip sonore a été ensuite isolé des extraits musicaux pour former les deux conditions « métronome », également réparties aléatoirement selon les sujets. Cette condition permet de s'assurer que les gestes sont effectués à la même cadence (environ 1 geste toutes les deux secondes).

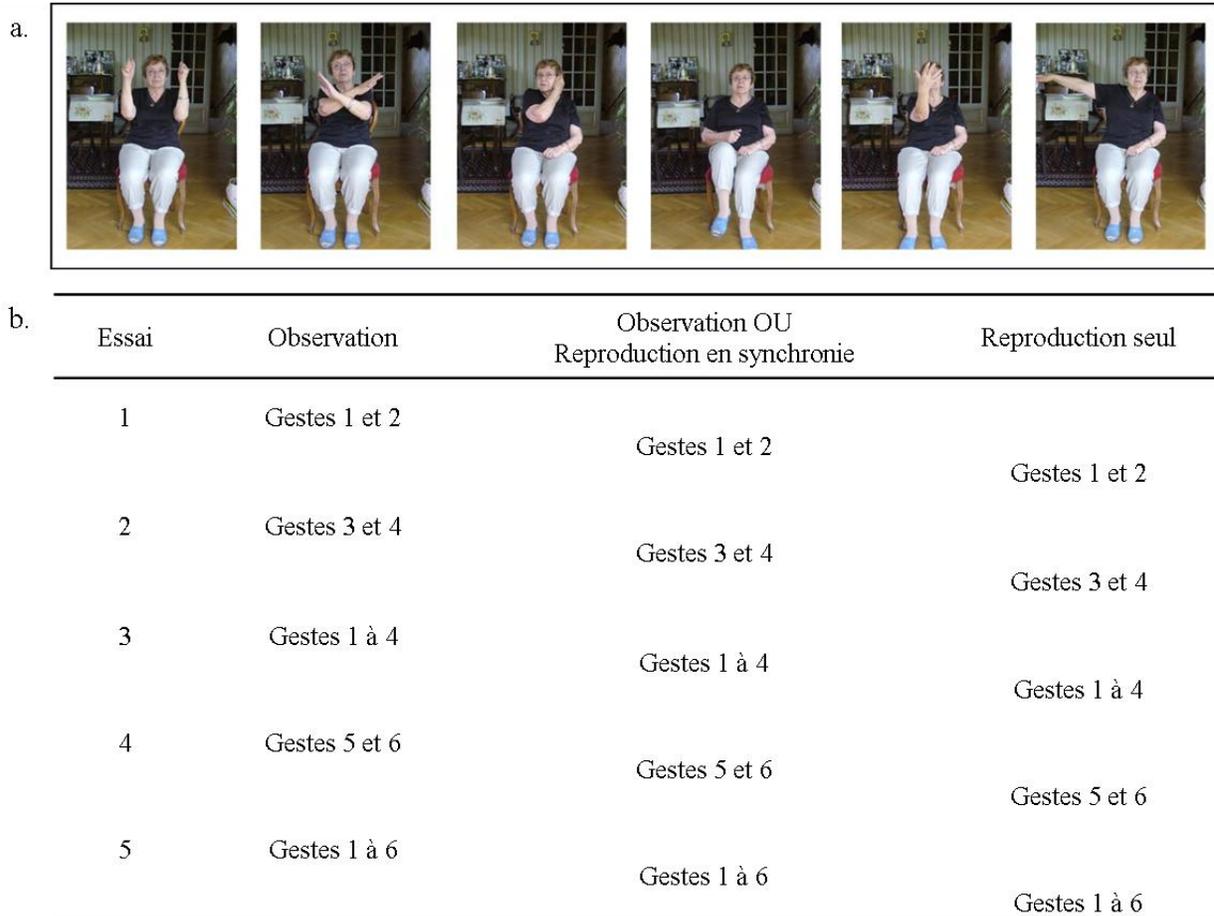


Figure 1. a. Exemples de gestes ; b. Illustration de la procédure d'apprentissage : exemple pour une séquence de 6 gestes.

**Procédures d'apprentissage.** L'ensemble de la session se déroule en position assise. Les gestes sont appris deux par deux, selon la procédure suivante. Le participant observe tout d'abord les deux premiers gestes réalisés face à lui par l'expérimentateur. Puis, dans la procédure de reproduction en synchronie, il reproduit ces gestes en même temps que l'expérimentateur. Dans la procédure sans synchronie, il observe simplement une seconde fois les gestes. Cette procédure nous permet d'égaliser le nombre d'expositions aux gestes, indépendamment de l'action demandée. Enfin le participant doit reproduire les deux gestes seul. Ensuite, les deux gestes suivants sont appris selon les mêmes étapes. Puis les 4 premiers gestes sont repris, toujours suivant ces étapes, puis les deux suivants (5 et 6), puis les 6 premiers, et ainsi de suite (voir Figure 1 b. pour une illustration de la procédure).

L'accompagnement sonore (musique ou métronome) est présenté à chacune de ces étapes d'encodage et de récupération. Le même passage musical est toujours associé aux mêmes gestes, tel que pour une chorégraphie (c'est-à-dire que le même passage est répété pour la répétition des gestes et l'extrait est repris du début quand on reprend la séquence de gestes depuis le début). Les participants sont invités, si possible, à suivre la cadence indiquée par les bips lorsqu'ils rappellent les gestes seuls.

Les séquences de gestes sont apprises selon une procédure adaptative, c'est-à-dire que le nombre total de gestes appris dépend des capacités de chaque sujet, avec un minimum de 6 gestes et un maximum de 10. Après les 6 premiers, deux gestes supplémentaires sont ajoutés uniquement si les participants sont parvenus à rappeler plus de 65% des gestes attendus lorsqu'ils les produisent seuls. Les performances des participants sont quantifiées en RI lors des rappels nécessitant la reproduction seul de plus de 2 gestes (c'est-à-dire, gestes 1 à 4, 1 à 6, et éventuellement 1 à 8, et 1 à 10), ainsi qu'en RD, 10 minutes après la fin de l'apprentissage.

**Procédure générale.** Les quatre séquences de gestes sont apprises lors de séances distinctes, toujours à la même heure de la journée, espacées au minimum d'une semaine, et incluses dans un protocole de recherche combinant plusieurs études. Les séances sont individuelles, effectuées au domicile des participants et filmées. Deux juges (dont au moins un est extérieur à l'étude) évaluent la performance des participants et notent les gestes selon 4 critères : (1) présents / absents, (2) bien / mal séquencés (correctement placés dans l'ordre de la séquence), (3) bien / mal formés (qualité de la réalisation), et (4) gestes erronés (intrusions). Un troisième juge départage les points de désaccord entre les deux premiers juges (moins de 10 % des cas pour le groupe MA, et moins de 2 % des cas pour les Contrôles).

## 4. Résultats

Les scores obtenus mettent en évidence un cas atypique dans le groupe de MA (participante JL), montrant des performances nettement supérieures à celles des autres participants du groupe. Les scores de cette participante sont analysés et présentés séparément après ceux des groupes. Les scores obtenus par les 7 participants MA restant et les 6 Contrôles sont comparés à l'aide de tests statistiques non paramétriques (Wilcoxon).

### 4. 1. Rappel Immédiat

Pour obtenir un score de Rappel Immédiat (RI), nous cumulons les scores obtenus aux rappels complétés (c'est-à-dire, rappels des gestes 1 à 4, 1 à 6, et éventuellement 1 à 8, et 1 à 10). Notons que, étant donné la procédure adaptative et l'arrêt de la tâche en fonction des capacités de chaque individu, les participants MA ont généralement appris seulement les 6 premiers gestes de la séquence, alors que les Contrôles ont quasiment toujours appris l'ensemble des 10 gestes. Les scores des participants en RI sont présentés dans la Figure 2 et analysés pour chacune des 4 mesures.

La première mesure concerne les gestes correctement rappelés, calculés en pourcentage sur le nombre total de gestes attendus (séquence entière). Conformément à nos hypothèses, la condition Métron\_Seuil mène aux moins bonnes performances, chez les MA comme chez les Contrôles. Cependant, si l'on considère les deux groupes séparément, le seul contraste significatif concerne la différence entre Métron\_Seuil et Mus\_Seuil chez les MA ( $Z = 2.11$ ,  $p <$

.05). Les scores des participants MA sont inférieurs à ceux des Contrôles pour toutes les conditions ( $p < .01$ ).

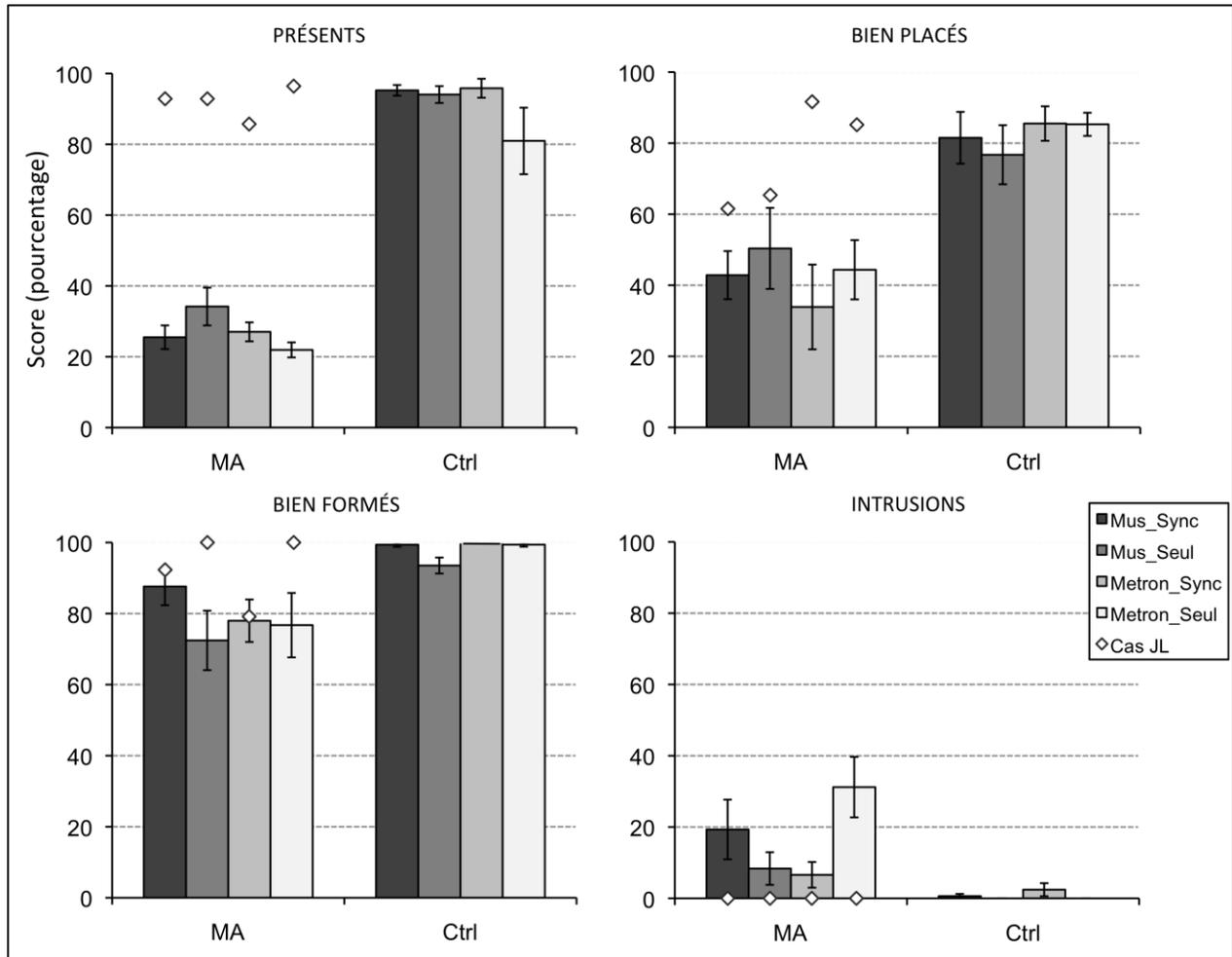


Figure 2. Pourcentages de gestes correctement rappelés, séquencés, formés, et d'intrusions en rappel immédiat (RI) en fonction des participants (MA, Contrôles, et cas de la patiente JL représenté par les losanges).

La seconde mesure concerne les gestes bien séquencés. Leur pourcentage est calculé sur le nombre de gestes rappelés. Le seul contraste significatif concerne la supériorité de la condition Métron\_Sync sur la condition Mus\_Seul chez les Contrôles ( $Z = 2.02$ ,  $p < .05$ ). Les performances des participants MA sont significativement inférieures à celles des Contrôles pour toutes les conditions ( $p < .01$ ) sauf pour la condition Mus\_Seul (où la différence entre les deux groupes n'est pas significative, probablement en raison de la plus grande variabilité des scores dans cette condition).

La mesure de gestes bien formés (calculée également sur le nombre de gestes rappelés) montre une tendance non significative à la supériorité des performances pour la condition Mus\_Sync chez les MA ( $p > .1$ ). Dans le groupe Contrôle, la condition Mus\_Seul est

significativement inférieure aux trois autres ( $Z = 2.02$ ,  $p < .05$ ). Les scores des MA et des Contrôles ne diffèrent pas significativement pour la plupart des conditions, excepté pour la condition Métron\_Seul ( $p < .05$ ).

Enfin, le pourcentage d'*intrusions* est calculé sur le total de gestes produits (correct + intrusions). La condition Métron\_Seul amène à un plus grand pourcentage d'intrusions chez les MA (effet marginal, comparativement à Métron\_Sync,  $Z = 1.85$ ,  $p = .063$ ). Les deux conditions d'apprentissage Seul diffèrent significativement entre MA et Contrôles ( $p < .05$ ).

#### **4. 2. Rappel Différé**

Le score de Rappel Différé (RD) est un ratio du nombre de gestes rappelés sur le nombre de gestes qui avaient été appris en RI. Les résultats sont présentés dans la Figure 3. Concernant le pourcentage de gestes rappelés, on observe une supériorité des scores pour les conditions apprises Seul chez les MA ( $Z = 2.55$ ,  $p < .05$ ) et apprises en Synchronie chez les Contrôles ( $Z = 2.03$ ,  $p < .05$ ). Lorsque l'on considère indépendamment les 4 conditions, des effets marginaux confirment cet effet. Chez les MA, les conditions Mus\_Seul et Métron\_Seul seraient mieux réussies que les conditions Mus\_Sync (respectivement,  $Z = 1.78$ ,  $p = .075$  et  $Z = 1.68$ ,  $p = .093$ ) et Métron\_Sync (respectivement,  $Z = 1.86$ ,  $p = .063$  et  $Z = 1.83$ ,  $p = .068$ ). Chez les Contrôles, le pattern inverse est retrouvé entre les conditions Mus\_Sync et Mus\_Seul ( $Z = 1.83$ ,  $p = .068$ ), avec un avantage pour la condition de Synchronie. Comme en RI, les performances des participants MA sont inférieures à celles des Contrôles pour toutes les conditions ( $p < .05$ ).

Concernant le placement des gestes, on observe chez les MA une tendance de supériorité de la condition Mus\_Sync, comparativement aux conditions Métron\_Sync ( $Z = 1.83$ ,  $p = .068$ ) et Métron\_Seul ( $Z = 1.68$ ,  $p = .093$ ). Cet effet est non significatif chez les Contrôles, bien que cette même condition montre une moyenne supérieure aux trois autres. Les scores diffèrent entre MA et Contrôles pour toutes les conditions ( $p < .05$ ) sauf pour la condition Mus\_Sync.

La mesure de gestes bien formés ne montre pas de différence entre les conditions, malgré une tendance globale à de meilleurs scores pour les conditions avec Métronome. On n'observe pas non plus de différences significatives entre les groupes.

Enfin, contrairement à ce qu'il avait été observé en RI, la condition Mus\_Sync mène en RD à plus d'erreurs d'intrusion chez les MA (comparativement à Mus-Seul,  $Z = 1.86$ ,  $p = .063$ ), alors que les Contrôles ne produisent aucune intrusion. Les participants MA ont un pourcentage d'intrusions plus élevé que les Contrôles pour les conditions Mus\_Sync et Métron\_Seul ( $p < .05$ ).

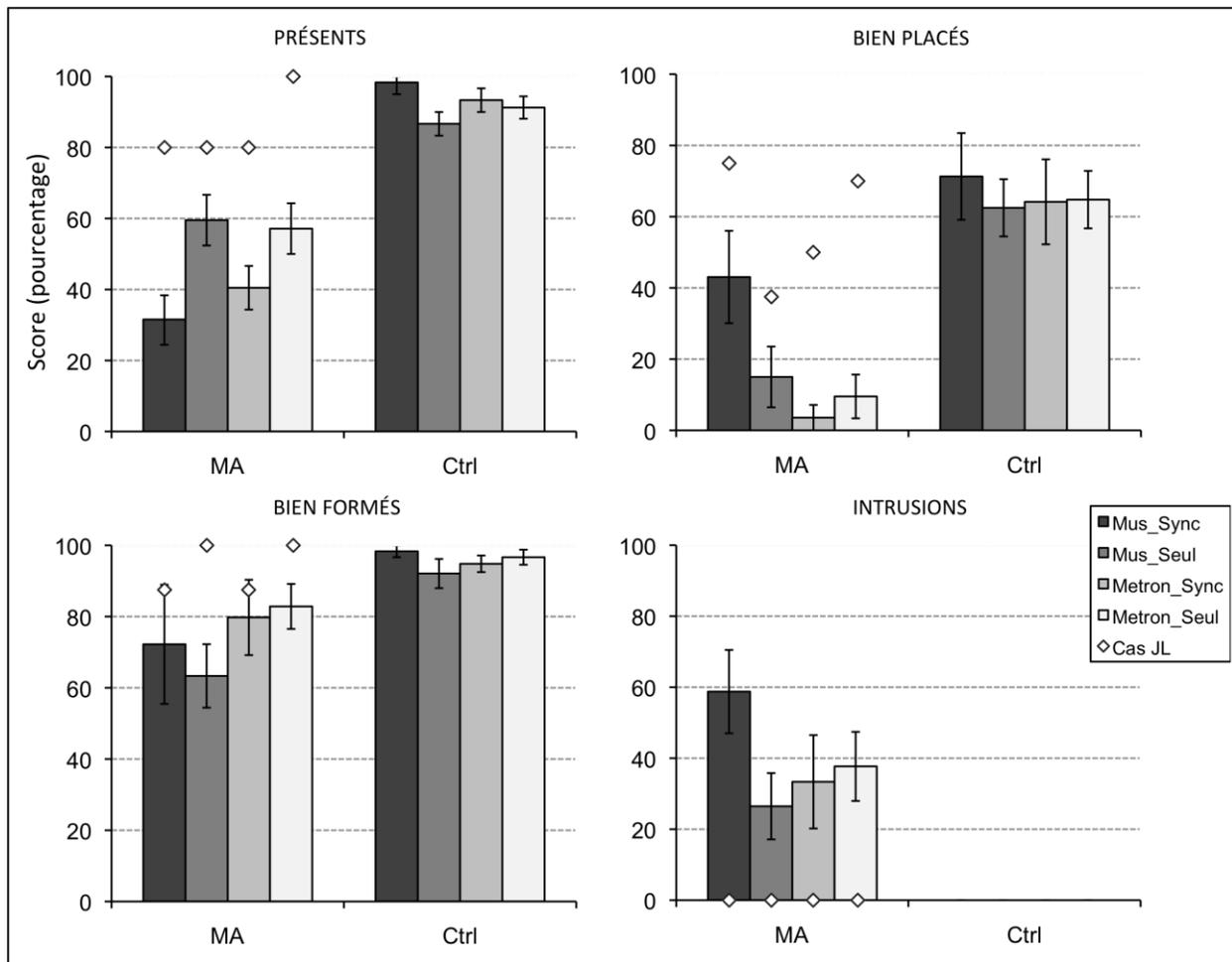


Figure 3. Pourcentages de gestes correctement rappelés, séquencés, formés, et d'intrusions en rappel différé (RD) en fonction des participants (MA, Contrôles, et cas de la patiente JL représenté par les losanges).

#### 4. 3. Cas particulier : JL

L'analyse des résultats individuels révèle que la participante JL (MA, MMSE = 25/30) a des habiletés relativement préservées pour cette tâche de mémoire gestuelle. En particulier, ses scores de gestes rappelés sont très similaires à ceux observés chez les Contrôles (Figures 2 et 3, scores représentés par les losanges). De plus, comme la plupart des Contrôles, elle ne commet jamais d'erreur d'intrusion. Ses scores dans les différentes conditions expérimentales sont comparés à l'aide du test du  $\chi^2$ , et du test de Fisher).

Des différences entre les conditions pour JL apparaissent uniquement en rappel immédiat, pour les mesures de gestes bien séquencés et formés. Concernant le placement des gestes, les conditions Métronome sont mieux réussies que lorsque les gestes sont appris en Musique ( $\chi^2(1) = 7.3, p < .01$ ). Plus précisément, la condition Mus\_Sync est inférieure aux deux conditions Métronome (respectivement, Fisher =  $p < .01$  et  $p = .066$ ), et la condition Mus\_Seul est inférieure à la condition Métron\_Sync ( $p < .05$ ).

Les gestes bien formés (RI) sont davantage reliés à la condition d'apprentissage, et mieux réussis lorsqu'appris Seul plutôt qu'en Synchronie (Fisher =  $p < .01$ ). En particulier, la condition Métron\_Sync est inférieure aux deux conditions Seul (Mus\_Seul :  $p < .05$  ; Métron\_Seul :  $p < .05$ ).

## 5. Discussion

Cette étude teste pour la première fois l'effet de l'accompagnement musical et de l'apprentissage en synchronie sur la mémorisation des séquences de gestes dans le vieillissement normal et la MA. Les résultats obtenus chez les autres participants montrent différents patterns de performances pour les deux groupes.

Chez les participants Contrôles, et conformément à nos hypothèses, la procédure d'apprentissage en synchronie semble favoriser les performances en terme de nombre de gestes mémorisés à la fois en RI et en RD, ainsi qu'en terme de qualité de réalisation des gestes en RI. Ce résultat peut-être d'une part expliqué par le fait que les participants sont plus actifs lors de l'apprentissage, ce qui peut favoriser l'investissement dans l'activité et le maintien de l'attention. D'autre part, l'effet de l'action motrice sur la mémoire est maintenant bien documenté. Par exemple, une liste d'actions décrites verbalement sera mieux mémorisée si les participants miment ces actions pendant l'encodage plutôt que si ils lisent simplement la liste (Voir par exemple Feyereisen, 2009, chez des personnes âgées). Cet effet peut être expliqué par le fait que l'action lors de l'encodage implique un plus grand nombre de processus (préparation conceptuelle, planification et coordination motrices). Ce niveau de complexité accru des processus cognitifs engagés résulte en un encodage plus profond, intégrant l'action à l'élément à mémoriser, et augmentant la distinctivité de la trace mnésique (voir Craik & Tulving, 1975). Ainsi, ce triple codage auditif, visuel et moteur de l'information à mémoriser peut faciliter la récupération du geste lors du rappel. Dans le domaine musical, Brown et Palmer (2012) ont montré récemment que des musiciens (pianistes) mémorisaient mieux de nouvelles mélodies complexes lorsqu'ils les jouent pour les apprendre et entendent leur production, plutôt que lorsqu'ils les écoutent simplement, ou les jouent sans retour auditif de leur production (note : la partition présentée visuellement est présente dans toutes les conditions).

Chez les Contrôles, la supériorité de l'apprentissage en synchronie en RD semble principalement due aux meilleures performances observées dans la condition musicale (Mus\_Sync), confirmant notre hypothèse d'interaction entre la production synchronisée et la musique, et cohérent avec les observations de Racette et Peretz (Racette et al., 2006). La richesse rythmique de la musique peut avoir facilité à la fois la réalisation du mouvement et sa synchronisation avec l'expérimentateur et l'extrait musical, fournissant un encodage de meilleure qualité et une trace mnésique plus robuste.

Par contre, contrairement à nos hypothèses, nous n'observons pas d'effet simple de la musique sur les performances de mémoire. Ce résultat peut-être dû au fait que le lien entre la musique et les gestes à mémoriser n'était pas assez fort, et relativement arbitraire. En effet, si la musique n'est pas suffisamment bien ajustée aux éléments à mémoriser, elle peut représenter une surcharge en créant une situation de double tâche, ou simplement ne pas représenter un support suffisamment pertinent pour y greffer ces informations (voir par exemple Wallace, 1994, dans le domaine de la mémoire verbale). Cet effet peut être plus important encore chez les personnes âgées, pour qui il a été montré que, dans des tâches de mémoire associative (binding), l'association doit être davantage guidée que chez les plus jeunes pour favoriser la performance

mnésique (par exemple, Naveh-Benjamin et al., 2007). Une solution serait de trouver un moyen de mieux associer la musique et les gestes à mémoriser. Par exemple, les gestes pourraient être reliés aux indices mélodiques : un geste dirigé vers le haut pour une progression de notes aiguës.

Afin de favoriser l'apport de la mélodie comme indice pour la récupération, il pourrait également être préférable de choisir des extraits musicaux qui contiennent plus de variabilité. Sur le plan mélodique, les extraits de Rigodon (comparables à des jigs irlandais) sont constitués de la répétition d'une phrase musicale seulement légèrement modulée au fil de l'extrait. Or, davantage de variations dans la mélodie fourniraient plus d'indices, de repères, qui serviraient de point de référence pour y greffer les gestes correspondants. De la même manière, il pourrait être pertinent d'exploiter davantage les variations de rythme, plutôt que d'effectuer les gestes en cadence sur la pulsation (*beat*). Dans le domaine de la mémoire verbale, des études ont montré qu'un texte récité avec une accentuation rythmique de type pulsation aidait l'apprentissage, mais qu'il était plus bénéfique encore lorsque l'accentuation était effectuée sur l'ensemble de la métrique (le rythme dans sa forme plus complexe ; Purnell-Webb, 2008 ; Wallace, 1994). Dans ce dernier cas, la hiérarchie rythmique donne à nouveau plus de repères et peut aider à structurer l'apprentissage et former des unités (*chunks*) de gestes pertinentes par rapport au support sonore. Une condition contrôle silencieuse (sans métronome) serait également nécessaire pour distinguer l'apport ou non d'une cadence régulière imposée, comparativement à une vitesse d'enchaînement des gestes qui serait libre. Les études futures devront préciser ces points.

Les résultats obtenus pour le groupe de participants MA montrent un patron différent. En rappel immédiat, conformément à nos hypothèses, la condition sans musique ni synchronie mène aux moins bonnes performances (moins de gestes rappelés et plus d'intrusions). Les meilleurs scores (gestes rappelés) sont observés pour la condition musicale, lorsque les gestes sont appris seul. On peut donc en conclure à un effet positif de la musique lorsque les gestes sont appris sans production synchronisée. En rappel différé, les conditions qui ont été apprises sans synchronie sont mieux mémorisées, avec un avantage de la condition musicale (plus de gestes rappelés et moins d'intrusions), suivie de près par la condition métronome. Ainsi, contrairement à nos hypothèses, et à ce qui est observé chez les Contrôles, la procédure en synchronie interfère avec le rappel, surtout dans la condition musicale (moins de mots rappelés, plus d'intrusions). Cette condition musicale apprise en synchronie est cependant celle qui amène à un meilleur placement des gestes dans la séquence. Il se peut que dans cette condition, les gestes qui parviennent à être encodés le soient de manière mieux organisée. Ce résultat peut cependant être dû aussi au simple fait que lorsque moins de gestes sont produits, il est plus facile de mieux les placer.

En résumé, la condition musicale avec apprentissage seul est celle qui amène globalement aux meilleures performances chez les participants MA. La musique représente donc une aide pour l'apprentissage. La synchronie, par contre, interfère avec leurs performances, en particulier quand elle est accompagnée de musique. Il se peut que la conjonction de la stimulation musicale et de la composante d'imitation crée une surcharge ou une distraction, les processus attentionnels et de mémoire de travail étant fragilisés par la maladie. Aussi, lors de la répétition des gestes en synchronie, il se peut que les participants mettent moins d'efforts dans la mémorisation des gestes, étant donné qu'ils les voient en même temps qu'ils doivent les reproduire pour la première fois. Cela peut expliquer que cette procédure interfère avec les mesures de RD, conséquence d'un encodage moins profond qui n'aurait pas été compensé par une stratégie de mémorisation plus élaborée comme chez les Contrôles. Enfin, la synchronisation peut être moins bénéfique aux participants MA compte tenu de leurs difficultés motrices et notamment la fragilité de leurs habiletés de coordination motrice (Kurlan et al., 2000).

Une autre question soulevée par ces observations concerne le fait que les participants MA tirent plus de bénéfice que les Contrôles de la condition musicale, alors qu'ils sont connus par ailleurs pour avoir de moins bonnes capacités en mémoire associative (*binding* ; e. g., Fowler et al., 2002; Parra et al., 2009). Il se peut que cet effet soit dû davantage à un effet de stimulation ou d'éveil (*arousal*) provoqué par la musique, plus qu'à un lien associatif en mémoire entre la musique et les gestes. Les patients MA pourraient être plus sensibles que les Contrôles à cet effet, qui contribuerait à l'investissement des participants dans la tâche, à la fois en augmentant la motivation et en diminuant le stress qui peut être associée à cette situation d'évaluation cognitive (voir Moussard, Rochette, et al., sous presse, pour une discussion de ces effets induits par la musique). Une autre interprétation d'une moins grande sensibilité des Contrôles à la variable musicale serait que les contrôles ont moins de place pour l'amélioration, ayant en général de très bonnes performances en RI et RD.

D'une manière générale (groupes et mesures confondus), le contraste des délais de rétention montre que si la musique interfère parfois avec la performance en RI, cela ne se produit jamais en RD. Cette observation est cohérente avec l'idée que la musique, lorsqu'elle est associée avec une autre information à mémoriser, est susceptible d'alourdir l'encodage mais favorise davantage la consolidation de l'information observée dans les mesures de rétention à plus long terme (voir Moussard et al., en préparation, pour des résultats similaires en mémoire verbale chez les mêmes patients).

Une participante MA n'a pas été incluse dans l'analyse statistique du groupe de patients pour cause de scores nettement supérieurs à ceux des autres membres de ce groupe. Il est difficile de comparer ses performances en fonction des différentes conditions expérimentales, mais intéressant de noter que ses scores sont, pour la plupart des mesures, comparables à ceux du groupe Contrôle. Ce résultat est surprenant car non prévisible d'après les données neuropsychologiques, où la participante montre un profil clinique de MA typique sur les mesures effectuées. De plus, dans une autre étude menée dans la même cohorte de sujets, les participants devaient apprendre des paroles parlées ou chantées. Les performances observées dans cette tâche verbale et celles issues de la tâche d'apprentissage de gestes ne sont pas corrélées, ni pour les MA, ni pour les Contrôles. De même, les scores de la patiente JL dans la tâche verbale sont équivalents à ceux des autres participants MA, et donc bien inférieurs à ceux des Contrôles. Ces résultats montrent que cette tâche d'apprentissage de séquence de gestes fait appel à une forme de mémoire différente de celle évaluée dans les tests neuropsychologiques administrés en prétest, ou de celle impliquée dans la tâche d'apprentissage de paroles, et que cette forme de mémoire gestuelle peut être préservée dans certains cas malgré l'altération de la mémoire verbale. Cette observation souligne la pertinence d'évaluer la mémoire en faisant appel à des modalités d'examen différentes de celles généralement utilisées dans la pratique clinique, afin de déceler d'éventuelles capacités préservées qui pourraient être utilisées en remédiation par la suite.

Enfin, étant donné que l'intégrité du système cognitif et les stratégies adoptées peuvent modifier qualitativement les patterns d'effets observés, il serait intéressant d'effectuer ces comparaisons chez des jeunes adultes. Il serait aussi pertinent d'étudier cette question dans un domaine d'expertise, et de tester par exemple s'il est préférable pour les danseurs professionnels d'apprendre une chorégraphie avec la musique sur laquelle ils la produiront, ou bien de la répéter tout d'abord sans musique et d'y associer la musique seulement une fois la séquence mémorisée. Ainsi, le bénéfice de la musique pourrait être objectivé à différents niveaux d'un continuum d'habiletés cognitives et/ou musicales.

## 6. Remerciements

Nous souhaitons remercier Emilie Lepage (Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal, IUGM) ainsi la Société Alzheimer Montréal pour le recrutement des participants MA, et Nadia Jaffer (IUGM) pour le recrutement des Contrôles, et tous les participants pour leur implication dans l'étude. Le premier auteur a reçu une bourse de la Fondation Médéric-Alzheimer, ainsi que du Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG) du programme ACN (Auditory Cognitive Neuroscience). La préparation de cet article a également été soutenue par les financements canadiens du CRSNG et des Instituts de Recherche en Santé du Canada (IRSC) accordés à I. Peretz et S. Belleville, ainsi que par une Chaire de Recherche du Canada à I. Peretz. Nous remercions enfin l'ANR « Does Music Boost the Brain? » et le financement européen EBRAMUS accordé à E. Bigand.

## 7. Abstract

This study aims for the first time at testing the potential of music to help learning new movements in normal and pathological memory. Participants with mild Alzheimer's disease (AD) and normal elderly persons (Controls) learn sequences of movements having no semantic meaning which are either accompanied by music or silence (and a metronome), and using a learning procedure that is either synchronized or not with the production of these movements during encoding. Results show different patterns of performance for the two groups. Globally, musical accompaniment has no impact on the Controls' performance but improves those of AD participants. Conversely, synchronization of movements during learning helps Controls but seems to interfere for ADs. We propose different ways aiming at explaining these differences and maximizing the effects of music as a mnemonic for movement's sequence learning.

*Keywords:* Music; Mnemonic; Motor abilities; Alzheimer's disease; Aging; Imitation; Movement.

---

# **DISCUSSION GÉNÉRALE**

---

Ce travail de thèse avait pour objectif d'évaluer le potentiel de la musique comme support de la mémoire verbale et gestuelle dans le vieillissement normal et la maladie d'Alzheimer. La première étude (articles 1 et 2) portait sur l'apprentissage de paroles récitées ou chantées, et posait trois questions majeures. La première concerne la facilité d'apprentissage et de rétention de paroles en fonction de leur présentation parlée ou chantée, ainsi que l'influence de la familiarité de la mélodie utilisée lorsque les paroles sont chantées. Conformément à nos hypothèses, les résultats indiquent, chez les MA comme chez les Contrôles, qu'il est plus difficile d'apprendre (rappel immédiat) des paroles si elles sont chantées sur une mélodie non familières plutôt que sur une mélodie familière ou simplement parlées. Aussi, bien que les conditions chantées montrent une augmentation graduelle des performances avec la familiarité de la mélodie, elles ne surpassent jamais significativement les conditions parlées en rappel immédiat. Par contre, les paroles chantées sont mieux mémorisées en rappel différé (10 minutes) si elles sont chantées sur une mélodie familière pour les Contrôles, et indépendamment de la familiarité mélodique pour les MA, qui montrent par ailleurs des scores de rappel très faibles pour les conditions parlées.

Le second versant de l'étude 1 (article 2) contraste deux procédures d'apprentissage de paroles parlées et chantées (sur mélodie non familière), en faisant varier l'action effectuée par les participants lors de l'encodage : écoute simple versus répétition à l'unisson (production synchronisée) des lignes à mémoriser. Nous attendions une facilitation des performances dans le cas de l'apprentissage avec production synchronisée pour les deux groupes de participants. Les résultats suggèrent que la production synchronisée supporte efficacement l'apprentissage chez les personnes âgées Contrôles, mais semble délétère chez les participants MA, en particulier en rappel immédiat.

Le troisième objectif de l'étude 1 (articles 1 et 2) était d'explorer, chez les participants MA uniquement, l'évolution des performances de mémoire pour des paroles parlées et chantées (sur mélodie non familière) en fonction de l'augmentation du nombre d'expositions au matériel – c'est-à-dire, au fil de réapprentissage successifs – ainsi que la rétention de ces extraits à plus long terme (après un délai de 4 semaines). Contrairement à nos hypothèses, les résultats montrent une progression similaire des performances de mémoire pour les deux types d'extraits au fil de multiples expositions. Par contre, et conformément à nos hypothèses, l'avantage pour la condition chantée semble apparaître après le délai de 4 semaines, en particulier en rappel différé.

La seconde étude (article 3) portait sur l'acquisition et la rétention des séquences de gestes, et posait deux questions. La première question concerne l'accompagnement sonore durant l'apprentissage, et contraste un accompagnement musical (musique dansante de style familier pour les participants) versus un simple métronome. Les résultats ne montrent pas d'influence claire de cette variable chez les Contrôles. Chez les MA, la musique semble favoriser – légèrement – les performances en rappel immédiat.

Tout comme dans l'étude sur la mémoire verbale, la seconde question de l'étude 2 concerne l'influence de la procédure d'apprentissage avec ou sans production synchronisée des gestes lors de l'encodage. La procédure avec synchronisation aide l'apprentissage et la rétention des gestes chez les Contrôles (rappel immédiat et différé). Les MA montrent un effet plus mitigé de synchronisation, qui semble aider en rappel immédiat mais interférer en rappel différé.

L'ensemble de ces résultats sont discutés ci-dessous à la lumière de la littérature existante en neuropsychologie de la mémoire, et enfin dans le contexte plus général de la stimulation cognitive et des interventions dans le domaine mnésique chez les personnes âgées et atteintes de démence.

## 1. L'apport de la composante musicale

Le résultat principal concernant la question du potentiel de la musique pour favoriser la mémorisation est la différente influence de la condition musicale observée en rappel immédiat et en rappel différé. Notamment, dans l'étude verbale, les données issues de l'apprentissage initial de paroles montrent d'abord un effet délétère de l'ajout de la composante musicale lorsqu'on considère le rappel immédiat, puis un bénéfice pour les conditions musicales lorsqu'on considère le rappel différé. Ces observations sont cohérentes avec la synthèse de la littérature qui traite de cette question chez le jeune adulte, et avec le modèle de représentations mnésiques séparées pour les paroles et la mélodie d'une chanson ; ce double codage peut à la fois représenter une charge lors des premières étapes d'encodage en mémoire, mais aussi mener à la constitution d'une trace mnésique plus robuste, et donc à la facilitation de la récupération de l'information (chapitre 4).

L'hypothèse de surcharge provoquée par la composante musicale est également soutenue par les observations du chant spontané lors du rappel des mots des conditions chantées, notamment le fait que (1) les Contrôles chantent plus de mots que les MA proportionnellement au nombre de mots rappelés, (2) la proportion de mots chantés lors de l'apprentissage initial chez les MA augmente avec la familiarité de la mélodie utilisée, et (3) la proportion de mots chantés chez les MA augmente au fil des séances successives de réapprentissage. Le fait qu'une plus grande complexité du matériel – ici, codage double verbal et musical – interfère avec l'apprentissage est par ailleurs cohérent avec certaines données issues de la littérature en ergonomie cognitive. Par exemple, la présence d'animations interactives ou la forte concentration d'indicateurs dans un document multimédia peut parfois avoir un effet négatif sur la performance des jeunes apprenants (Boucheix & Rouet, 2007; Lowe & Boucheix, 2011). Ces effets peuvent être particulièrement marqués dans le vieillissement – et plus encore dans la MA – compte tenu de la diminution des ressources cognitives disponibles, en particulier la fragilité – ou altération – des processus attentionnels et de mémoire de travail.

Le contraste de performance entre rappels immédiat et différé a également été documenté dans la littérature dans le domaine de la mémoire et des apprentissages. Dans les apprentissages moteurs et procéduraux chez les enfants et les adultes, la performance durant la session de pratique n'est pas forcément un bon indicateur de la rétention de ce qui a été appris. (Schmidt & Lee, 1999, pour revue). En mémoire verbale épisodique, Craik et Lockhart (1972) ont observé qu'un encodage plus profond (traitement sémantique élaboré) nécessite plus de temps – ce qui peut être interprété en terme de coût de traitement – mais mène à de meilleures scores de rappel. Aussi, l'amélioration de la performance avec un encodage plus profond est plus marquée lorsque le sujet est exposé deux fois au stimulus plutôt qu'une (exemple avec apprentissage de mots, Craik & Tulving, 1975). Un enseignement à tirer de cette littérature et des observations issues du présent travail est qu'il est crucial de tester non seulement les processus d'acquisition mais aussi de rétention (rappel différé) lorsqu'on teste l'efficacité d'une stratégie mnésique.

L'efficacité de la technique mnémotechnique qui consiste à associer deux éléments à mémoriser dépend grandement de la force de leur lien dans la représentation mnésique formée (Paivio et al., 1988). Une importante limite des résultats issus du présent travail est la taille parfois petite des effets observés dans nos études. Elle est explicable en partie par l'échantillon restreint et hétérogène (notamment pour la population clinique de participants MA). Mais elle peut aussi être due au lien trop peu prononcé entre les éléments à mémoriser. Dans la tâche de mémoire gestuelle notamment, le lien entre la musique et les gestes est arbitraire. L'effort

d'association (*binding*) entre les deux doit donc être plus important pour que l'un puisse servir d'indice pour retrouver l'autre. Une piste pour les prochaines études serait de tenter de maximiser ces effets en insistant davantage sur l'ajustement acoustique ou sémantique entre les éléments à mémoriser. Par exemple, appuyer davantage les indices rythmiques associés aux accents du texte, ou effectuer les gestes selon un rythme plus riche que sur la simple pulsation de la mélodie pourraient augmenter les indices disponibles pour l'association entre eux. Aussi, une analogie sémantique entre la musique et l'élément à mémoriser pourrait s'avérer pertinente : par exemple, des notes plus aigües pour un geste qui est dirigé vers le haut, ou pour une ligne de paroles qui évoquent des oiseaux. Enfin, une autre variable qui pourrait être influente est le temps alloué à l'étude des items : laisser aux participants le temps et le nombre de répétitions qu'ils souhaitent pendant l'encodage pourrait permettre la création d'un lien associatif plus efficace entre les éléments à mémoriser. Cette procédure a par ailleurs montré des résultats positifs chez des patients MA avec une tâche d'apprentissage d'une liste de mots (Souhay, Moulin, Isingrini, & Conway, 2008).

## **2. La musique est-elle spéciale ?**

Une question soulevée par ses observations concerne la spécificité de la musique dans ces associations. Différents arguments avaient été avancés en partie théorique pour proposer que la musique constitue un matériel privilégié pour y associer des paroles à mémoriser. Nous les rediscutons ici aux vues des données obtenues dans nos deux études.

L'évaluation des habiletés musicales chez nos participants a tout d'abord confirmé la bonne préservation de la perception musicale (le traitement acoustique, mais aussi la compréhension implicite du système musical tonal ; chapitre 3), ce qui en fait un matériel accessible à une population âgée, y compris atteinte de démence. Les effets de stimulation (*arousal*), de contact social, et de modification des constantes neurophysiologiques (chapitre 2) jouant éventuellement sur l'anxiété (apaisement) ou l'apathie (stimulation) n'ont pas été directement testés. Nous pouvons cependant noter que la plupart des participants appréciaient les exercices proposés, et qu'après les 12 premières séances (phase d'apprentissage initial pour mémoire verbale et gestuelle), une seule participante MA sur 8 n'a pas souhaité renouveler sa participation pour la seconde partie de l'étude (phase de réapprentissage pour mémoire verbale, impliquant 10 séances supplémentaires). Aussi, le pourcentage d'attrition fut quasi nul (un seul participant n'a pas suivi les deux dernières séances de réapprentissage pour cause de déménagement).

L'effet de l'entraînement musical sur la plasticité cérébrale (chapitre 2) n'a pas non plus été mesuré. Il serait intéressant pour les futures recherches d'explorer les différences d'activation neuronale pour l'apprentissage de paroles récitées versus chantées, ces dernières impliquant probablement un réseau plus large. Dans le cadre d'une étude d'intervention, il serait également pertinent de tester si ce réseau s'étend au fil de pratiques visant à développer l'association mnémotechnique entre une information à mémoriser et une musique associée. Bien que notre étude ne constitue pas une étude d'intervention en tant que telle, les mesures neuropsychologiques effectuées en pré-test et post-test montrent une amélioration de la mémoire verbale (rappel immédiat principalement) pour les deux groupes de participants. L'absence de groupe contrôle non stimulé (ou stimulé autrement) ne permet pas de tirer de solides conclusions de ce résultat – il est tout de même intéressant de noter que les autres mesures effectuées (MMSE, mémoire à court terme et mémoire de travail, attention) n'ont pas progressé en post-

test, ce qui suggère un effet particulier sur la mémoire verbale. Une étude contrôlée devra confirmer cette hypothèse.

Un argument important pour penser que la musique serait un bon support de mémoire verbale et motrice repose sur la possibilité d'y ajuster des paroles ou des gestes de manière étroite, ainsi qu'écologique (chapitres 4). Une observation intéressante issue de l'étude d'apprentissage de paroles est que la musique semble attirer l'attention sur les caractéristiques de surface des chansons. L'effet d'augmentation de la taille des chunks (McElhinney & Annett, 1996), suggérant un meilleur découpage en unités pertinentes, n'a pas été reproduit. Par contre, l'analyse des erreurs produites indiquent qu'une priorité pour les paroles chantées est donnée à la sonorité de l'extrait plus qu'à son contenu sémantique. Ce résultat peut sembler paradoxal aux vues des études qui montrent que des informations verbales sont mieux mémorisées lorsqu'on a effectué un traitement sémantique plutôt que structurel (par exemple, dire si le mot appartient à une catégorie sémantique donnée plutôt que dire s'il est écrit en majuscules ou minuscules, Craik & Tulving, 1975). En effet, le sens d'un mot semble plus crucial que sa structure ; on peut comprendre facilement que l'aspect sémantique soit plus pertinent à extraire. Cependant, lorsque l'information à mémoriser est musicale, comme pour une chanson, le sens exact des paroles est souvent relégué à un plan secondaire, et la sonorité de l'extrait prime (alternances de patrons rythmiques, contours et intervalles mélodiques). Ainsi, on peut penser que l'attention portée à l'aspect sémantique ou structurel des informations à mémoriser aura une influence différente dépendamment de la nature du stimulus. D'autres études pourront tester cette hypothèse en faisant varier le traitement sémantique et acoustique lors de l'encodage de paroles parlées et chantées, ou de poèmes, qui constituerait un niveau intermédiaire intéressant, ou encore dans une langue étrangère.

Enfin, de manière plus directement reliée aux processus mnésiques en tant que tel, nous proposons que la musique puisse avoir un effet spécifique sur la mémoire de deux manières possibles : en facilitant le processus de récupération et/ou celui de consolidation en mémoire à long terme. Le processus de récupération en mémoire est très fortement relié au fonctionnement exécutif : se remémorer un souvenir n'implique pas seulement de l'avoir bien stocké en mémoire, mais aussi d'être capable de mettre en œuvre les stratégies efficaces qui permettent de le retrouver de manière volontaire. Or, les fonctions exécutives sont fragilisées dans le vieillissement (voir Bherer et al., 2004, pour une revue dans le vieillissement normal et la MA), et certains auteurs ont proposé que les déficits de mémoire liés à l'âge pouvaient être dus à ce dysfonctionnement exécutif (par exemple, Bugajska et al., 2007). En effet, lorsque des indices sont présentés lors de la récupération d'informations apprises – indices qui soutiennent ce processus de recherche en mémoire – la différence des performances de mémoire entre les personnes jeunes et âgées est considérablement réduite (Angel, Isingrini, Bouazzaoui, Taconnat, Allan et al., 2010). De plus, il semblerait que les personnes âgées utilisent moins de stratégies de mémorisation internes (et davantage externes : agenda ou carnet de notes, par exemple) comparativement aux jeunes ; et l'utilisation de stratégies internes semble corrélée au bon fonctionnement exécutif (Bouazzaoui, M., Fay, Angel, Vanneste et al., 2010). Il serait donc intéressant de mesurer plus précisément à quel point une mélodie améliorerait le rappel lorsqu'elle est fournie comme indice (externe) et présentée lors de la récupération d'informations verbales. Aussi, on peut penser qu'une mélodie familière pourrait représenter un indice interne – qui peut donc être utilisé spontanément par le sujet pour retrouver l'information qui y avait été associée. Enfin, une observation intéressante issue de notre étude sur l'apprentissage de paroles est que les participants MA qui bénéficient le plus de la condition chantée (comparativement à

parlée) sont ceux qui ont les plus faibles scores aux deux tests de fluence (phonologique et sémantique). La musique pourrait donc aussi soutenir le processus de récupération en facilitant l'évocation verbale.

L'idée que les informations apprises en musique sont mieux consolidées (chapitre 4) est soutenue par notre étude d'apprentissage de paroles, en particulier pour les participants MA. Cela peut être dû au fait que la composante musicale en tant que telle serait mieux mémorisée chez les participants MA que d'autres types de matériel, tel que proposé dans le chapitre 3. Cette hypothèse est basée sur le fait que les patients MA semblent montrer une supériorité dans la formation de nouvelles connaissances musicales – au moins, un sentiment de familiarité – plutôt que linguistiques (Samson et al., 2009). Ce sentiment de familiarité préservé pour l'acquisition de nouvelles informations musicales est d'ailleurs retrouvé dans notre étude dans la tâche d'apprentissage de mélodies non familières : après 3 expositions aux mélodies, le score des participants MA ne diffère pas de celui des contrôles dans la tâche de reconnaissance. Samson et collaborateurs (2009) proposent que les émotions musicales – dont la perception est par ailleurs souvent préservée dans la MA (chapitre 3) – constituent un élément clé pour l'émergence de cette familiarité pour de nouveaux extraits musicaux. Cette hypothèse est cohérente avec l'idée que l'influence des émotions sur la mémoire (chapitre 3) peut parfois être différente en fonction du délai de rétention testé (voir Schulkind et al., 1999, qui abordent cette notion dans le domaine de la mémoire musicale au cours de la vie, ou Christianson, 1992, pour une revue de littérature discutant les effets des émotions en fonction des délais de rétention dans le domaine non musical).

Une nuance à cette hypothèse de meilleure consolidation pour le matériel musical est apportée par les scores obtenus par les participants MA lors des séances de réapprentissage. Si les paroles chantées étaient mieux consolidées, on devrait observer une progression plus importante des rappels immédiats et différés pour cette condition comparativement à la condition parlée. Or, l'avantage de la condition chantée n'apparaît à nouveau qu'après le délai de 4 semaines, mais n'est pas visible d'une semaine à l'autre. Ceci peut être expliqué d'une part par l'hétérogénéité des courbes d'apprentissage chez ces 6 patients MA. Il se peut également que cet effet soit trop fragile pour être mis en évidence chez des participants avec troubles mnésiques. Il serait intéressant de tester à nouveau ce protocole de réapprentissages successifs avec des personnes âgées Contrôles afin de contrôler cet éventuel effet d'interaction avec les troubles cognitifs. Il serait également pertinent de quantifier la mémoire pour les mélodies (indépendamment des paroles qui sont rappelées) dans les cas où les participants chantent spontanément lors des rappels. Rappelons qu'il a été observé que le pourcentage de mots chantés diminuait moins du rappel immédiat au rappel différé que le pourcentage de mots rappelés. Si la mélodie chantée par les participants est fidèle à celle de l'extrait appris, on pourra alors en conclure qu'ils ont mieux consolidé la composante musicale que linguistique.

### **3. Musique, action et mémoire**

La production synchronisée du matériel verbal et gestuel pendant l'encodage a mené à des résultats différents dans les deux groupes de participants. Alors que les participants âgés sains semblent généralement en tirer profit, les résultats sont plus mitigés pour les participants MA, qui montrent plutôt un effet délétère de la synchronisation sur leurs performances.

L'effet facilitateur retrouvé chez les Contrôles peut être expliqué par le double codage auditivo-verbal pour les paroles, et le triple codage auditivo-visuo-moteur pour les gestes. La

trace mnésique enrichie par ces connexions multimodales est ainsi plus facile à récupérer. Cette notion est à rapprocher de la littérature dans le domaine de la cognition incarnée (*embodiment*), qui stipule de forts liens entre l'action et la cognition. En particulier, l'*enactment* désigne le fait que des participants mémorisent mieux une séquence d'actions présentée verbalement (par exemple, « couper du pain », « ouvrir la porte ») si ils miment ou exécutent ces actions, plutôt que s'ils lisent simplement la liste d'actions. Deux hypothèses (pas nécessairement contradictoires) sont avancées dans la littérature pour expliquer ce phénomène. La première explication met l'accent sur la plus grande profondeur de traitement dans l'exécution d'une action, impliquant l'activation de schémas d'action, la planification et coordination motrices pour sa réalisation, qui en fait une tâche d'un plus haut niveau de complexité que la lecture de l'action. Ainsi, l'intégration entre la dénomination verbale et la réalisation motrice de l'action renforce l'encodage (Kormi-Nouri, 1995) et forme une trace mnésique plus « distinctive » ( Craik & Tulving, 1975), ce qui faciliterait la récupération en retour. La seconde explication met davantage l'accent sur la composante motrice avec l'idée d'un encodage « physique » de l'information (Zimmer & Cohen, 2001). Cette trace motrice serait encodée de manière incidente et réactivée automatiquement lors de la récupération. Elle pourrait alors guider la récupération plus consciente de l'action verbale associée.

Notons aussi que le plaisir d'effectuer une action ensemble (chanter et « danser » en synchronie avec une autre personne, dans nos deux études) peut avoir facilité la motivation et l'engagement dans la tâche. Les prochaines études pourront focaliser davantage sur l'interaction de l'action conjointe avec la composante musicale.

Par contre, le fait que les participants MA n'aient pas pu bénéficier de la même manière de cette procédure peut être relié à la charge cognitive qu'elle demandait, plaçant le sujet en situation de tâches multiples. Le fait de devoir reproduire les gestes en synchronie a pu aussi prendre le pas sur l'intention de les mémoriser, et distraire les patients de l'objectif initial d'apprentissage des gestes. Contrairement à nos hypothèses, la procédure de production synchronisée semble même interagir négativement avec la composante musicale. Cette observation peut être comprise par l'idée qu'un enrichissement trop important de la tâche à effectuer la rend trop complexe pour des patients avec des ressources limitées. Enfin, les difficultés motrices qui peuvent être observées dans la démence, en particulier de la coordination, peuvent avoir contribué à cet effet délétère. D'autres études devront préciser les liens entre mémoire et motricité chez les personnes âgées avec et sans troubles cognitifs.

#### **4. La place de la musique au cœur des stratégies d'intervention à visée mnémotechnique dans le vieillissement et la MA**

Nous avons vu dans le chapitre 1 du présent travail qu'un besoin persiste concernant les stratégies de support de la mémoire chez les personnes âgées, et plus encore chez les patients MA. Bien que la présente étude ne soit pas une étude d'intervention en tant que telle, elle vise à identifier un potentiel effet mnémotechnique de la musique. Il convient donc de replacer plus généralement nos observations dans le champ de la neuropsychologie clinique en identifiant leurs points forts et leurs points faibles comparativement à ce qui a été décrit dans la littérature concernant les stratégies mnémotechniques non musicales. Les principaux points influents abordés dans la partie théorique sont repris et discutés dans cette dernière section.

### **1. Les stratégies mnésiques classiques sont coûteuses en ressources cognitives.**

L'aspect « *effortful* » des stratégies mnémotechniques (telle que l'imagerie mentale par exemple) limite leur utilisation par les personnes les plus âgées ou atteintes de troubles cognitifs. L'apprentissage en musique présente l'avantage de ne pas nécessiter l'acquisition d'une stratégie particulière, ce qui d'une part économise du temps d'entraînement et d'autre part rend la tâche accessible aux personnes qui sont en échec dans les situations d'apprentissage de stratégies classiques. Nos résultats montrent même que les patients MA sont ceux qui bénéficient le plus de l'association de la musique (comparativement aux Contrôles). Cet effet peut être dû au fait que le traitement et la formation d'un sentiment de familiarité pour la musique reposent sur des processus plus implicites et mieux préservés dans la démence. Aussi, la dimension de plaisir liée à l'activité musicale peut avoir joué un rôle sur la motivation des participants, contribuant ainsi à compenser d'éventuelles difficultés attentionnelles chez les plus altérés. L'impression de loisir – et non d'exercice cognitif – qui en résulte peut également être décisive sur l'appréhension de la tâche par les participants, et diminuer leur anxiété d'être mis en échec, entravant souvent la performance.

L'ensemble de ces réflexions présupposent que le thérapeute (ou enseignant) met lui-même en musique les informations à mémoriser, et fournit au sujet le stimulus à apprendre « tel quel ». Ceci est faisable dans le cadre clinique, mais limite davantage l'utilisation spontanée de cette technique pour les personnes âgées saines. Pour ces personnes, davantage capables d'apprendre une stratégie que les personnes avec troubles cognitifs, il serait possible d'enseigner la manière d'ajuster des informations verbales à une mélodie (déjà familière) en quelques séances. Il serait intéressant de tester la faisabilité et l'efficacité d'un tel enseignement.

### **2. Les stratégies mnésiques classiques montrent peu de maintien des bénéfices dans le temps.**

Il serait intéressant de comparer la rétention à long terme d'une même information apprise en musique et apprise avec une stratégie d'imagerie mentale. Les résultats de notre étude sur la mémoire verbale suggèrent que les informations apprises en musique seraient susceptibles d'être maintenues de manière plus efficace au fil du temps, en particulier chez les patients MA.

### **3. Les effets des stratégies mnésiques classiques restent souvent modestes.**

Les effets observés dans notre étude sont également modestes. Il serait intéressant de tester ces effets dans un échantillon plus large afin d'augmenter la puissance statistique. Nous avons également proposé dans la section précédente différentes pistes pour diminuer la charge à l'encodage et améliorer le *binding* entre la musique et l'élément à mémoriser. Il se peut cependant que les effets restent modérés malgré ces efforts. Une autre tentative pourrait être de cumuler ces différentes stratégies au lieu de les opposer : par exemple, pour les patients MA, apprendre une information verbale chantée (comme un numéro de téléphone important) avec une technique de récupération espacée.

### **4. Les stratégies mnésiques classiques montrent peu d'effet de généralisation aux activités de la vie quotidienne.**

Étant donné que la stratégie musicale se place dans les interventions visant à l'acquisition de connaissances spécifiques, nous n'attendons pas non plus d'effets de généralisation aux autres activités. Des améliorations entre pré et post-test ont été montrées dans notre protocole, mais

l'absence de groupe contrôle ne nous permet pas de conclure à un effet qui se distinguerait du simple test-retest. Cependant, le fait que seules les mesures de mémoire verbale s'améliorent parmi les différentes fonctions cognitives testées constitue une piste intéressante pour les prochaines études. En outre, un éventuel effet de généralisation pourrait être observé via un effet général d'arousal, comme cela a déjà été démontré pour une variété de populations et fonctions cognitives suite à l'écoute musicale (chapitre 2). Cependant, nous pensons que la majorité des effets bénéfiques sera limitée au matériel entraîné. Il est donc pertinent de considérer les besoins individuels et de construire le matériel de manière personnalisée. Certaines personnes auront peut-être comme plus grande frustration de ne pas se souvenir du prénom de leurs petits-enfants. Pour d'autres, il pourra être utile d'apprendre la procédure d'utilisation d'un lecteur DVD.

**5. *Il serait nécessaire de mieux identifier le profil des personnes qui bénéficieront le plus de l'une ou l'autre des stratégies proposées.***

Les résultats issus de notre étude (et probablement ceux observés dans la littérature) montrent une importante variabilité interindividuelle. Ainsi, certains individus peuvent bénéficier grandement des stratégies testées et d'autres pas du tout. Cette différence peut être expliquée par l'interaction entre leur profil neuropsychologique et la tâche demandée. Par exemple, il se peut que les participants qui montrent un déficit général de traitement bénéficient plus d'une stratégie mnémotechnique d'imagerie mentale que d'autres qui présentent un déficit plus spécifique des capacités d'imagerie mentale ou de *binding* (Jones et al., 2006). Il en est de même pour l'apprentissage en musique. Nous pensons qu'elle peut rendre la production du stimulus plus automatique, et être plus bénéfique aux patients qui présentent un trouble des fonctions exécutives. Par contre, il se peut qu'elle interfère avec l'apprentissage pour les participants qui ont les plus faibles capacités de *binding*. Ce lien serait à confirmer en corrélant les performances des participants en apprentissage de paroles chantées et parlées à une tâche de mémoire associative évaluant plus directement ce processus de *binding*.

**6. *Les stratégies mnésiques classiques mettent en évidence des effets de plasticité cérébrale suite à l'entraînement.***

Le présent travail ne teste pas les effets de réorganisation neurofonctionnelle, principalement car nous n'avons pas mené une étude d'intervention en tant que telle. Il serait cependant intéressant d'explorer si les réseaux impliqués dans la mémorisation d'une chanson, dès un apprentissage initial, sont plus étendus que ceux observés dans la mémorisation d'un simple texte. Ces données fourniraient des informations précieuses quant aux différents processus mis en place lors de l'encodage et de la récupération des informations. L'évolution de ces activations pourrait également être mesurée avant et après un entraînement à la mémorisation de chansons, afin de déterminer si ces réseaux peuvent être développés par la pratique.

**7. *Les stratégies mnésiques classiques sont plus efficaces lorsqu'elles sont menées en groupe plutôt qu'individuellement.***

Il serait possible d'apprendre des informations en musique par petits groupes également. La seule contrainte serait de trouver un matériel pertinent pour l'ensemble des participants. Dans le cas de patients en institution, cela pourrait être par exemple l'adresse de l'institution, pour la mémoire verbale, ou la procédure utilisée pour la toilette pour la mémoire gestuelle (voir Platel, Moussard, & Francisco, en préparation, pour une étude pilote). Le chant choral a par ailleurs montré différents effets bénéfiques sur la physiologie des adultes sains. De même, la musique

jouée en direct devant un groupe de patients diminue l'apathie (chapitre 2). Ces effets stimulants pourraient renforcer l'aide de la musique en favorisant le fonctionnement cognitif général.

## **5. Conclusion**

Cette étude est une des rares à avoir exploré l'effet de la musique comme support de la mémoire dans le vieillissement normal et pathologique. L'analyse de la littérature montre que la musique réunit un certain nombre de caractéristiques lui conférant un intérêt pour la stimulation cognitive en général, et mnésique en particulier. Les résultats observés dans le présent travail suggèrent un effet positif de l'association musicale pour la rétention de nouvelles informations verbales (et gestuelles dans une moindre mesure), notamment chez les participants atteints de MA. Nous proposons que la musique puisse soutenir les processus de récupération et de consolidation en mémoire à long terme des informations avec lesquelles elle est associée. Une limite à ces études est la petite taille des effets observés, possiblement due au fait que la musique pourrait surcharger le processus d'encodage. Les futures études devront trouver le moyen de diminuer cette charge afin de profiter de manière optimale des effets bénéfiques, et permettre de développer une nouvelle stratégie d'intervention mnémotechnique pour les populations âgées et atteintes de démence.

---

## **RÉFÉRENCES**

---

- Adam, S. (2006). Le fonctionnement de la mémoire épisodique dans la maladie d'Alzheimer. In C. Belin, A.-M. Ergis & O. Moreau (Eds.), *Actualités sur les démences: Aspects cliniques et neuropsychologiques*. Marseille: Solal.
- Adam, S., & Collette, F. (2007). Mémoire de travail et maladie d'Alzheimer. In G. Aubin, F. Collette, P. Pradat-Diehl & C. Vallat (Eds.), *Neuropsychologie de la mémoire de travail*. Marseille: Solal.
- Allan, C. L., Sexton, C. E., Welchew, D., & Ebmeier, K. P. (2010). Imaging and biomarkers for Alzheimer's disease. *Maturitas*, *65*(2), 138-142.
- Altenmüller, E. O. (2001). How many music centers are in the brain? *Annals of the New York Academy of Sciences*, *930*, 273-280.
- Altenmüller, E. O., Marco-Pallares, J., Münte, T. F., & Schneider, S. (2009). Neural reorganization underlies improvement in stroke-induced motor dysfunction by music-supported therapy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1169*, 395-405.
- Amunts, K., Schlaug, G., Jäncke, L., Steinmetz, H., Schleicher, A., Dabringhaus, A., & Zilles, K. (1997). Motor cortex and hand motor skills: Structural compliance in the human brain. *Human Brain Mapping*, *5*(3), 206–215.
- Angel, L., Isingrini, M., Bouazzaoui, B., Taconnat, L., Allan, K., Granjon, L., & Fay, S. (2010). The amount of retrieval support modulates age effects on episodic memory: evidence from event-related potentials. *Brain Research*, *4*(1335), 41-52.
- Anisfeld, M., & Lambert, W. E. (1966). When are pleasant words learned faster than unpleasant words? *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *5*(2), 132-141.
- Anvari, S. H., Trainor, L. J., Woodside, J., & Levy, B. A. (2002). Relations among musical skills, phonological processing, and early reading ability in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *83*(2), 111-130.
- APA. (1994). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (4th ed.)*. Washington, DC: American Psychiatric Association.
- Bäckman, L., & Herlitz, A. (1990). The relationship between prior knowledge and face recognition memory in normal aging and Alzheimer's disease. *Journal of Gerontology*, *5*(3), P94-100.
- Bäckman, L., Josephsson, S., Herlitz, A., Stigsdotter, A., & Viitanen, M. (1991). The generalizability of training gains in dementia: Effects of an imagery-based mnemonic on face-name retention duration. *Psychology and Aging*, *6*(3), 489-492.

- Baddeley, A., Della Sala, S., & Spinnler, H. (1991). The two-component hypothesis of memory deficit in Alzheimer's disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *13*(2), 372-380.
- Bahrnick, H. P., Bahrnick, P. O., & Wittlinger, R. P. (1975). Fifty years of memory for names and faces: A cross-sectional approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, *104*(1), 54-75.
- Baird, A., & Samson, S. (2009). Memory for music in Alzheimer's disease: Unforgettable? *Neuropsychology Review*, *19*(1), 85-101.
- Ball, K., Berch, D. B., Helmers, K. F., Jobe, J. B., Leveck, M. D., Marsiske, M., . . . Willis, S. L. (2002). Effects of cognitive training interventions with older adults: A randomized controlled trial. *Journal of the American Medical Association*, *288*(18), 2271-2281.
- Bartlett, J. C., Halpern, A. R., & Dowling, W. J. (1995). Recognition of familiar and unfamiliar melodies in normal aging and Alzheimer's disease. *Memory and Cognition*, *23*(5), 531-546.
- Bartlett, J. C., & Snelus, P. (1980). Lifespan memory for popular songs. *The American Journal of Psychology* *93*(3), 551-560.
- Bassil, N., & Grossberg, G. T. (2009). Novel regimens and delivery systems in the pharmacological treatment of Alzheimer's disease. *CNS Drugs*, *23*(4), 293-307.
- Beatty, W. W., Salmon, D. P., Butters, N., Heindel, W. C., & Granholm, E. L. (1988). Retrograde amnesia in patients with Alzheimer's disease or Huntington's disease. *Neurobiology of Aging*, *9*(2), 181-186.
- Beatty, W. W., Winn, P., Adams, R. L., Allen, E. W., Wilson, D. A., Prince, J. R., . . . Littleford, D. (1994). Preserved cognitive skills in dementia of the Alzheimer type. *Archives of Neurology*, *51*(10), 1040-1046.
- Becker, J. T., Lopez, O. L., & Wess, J. (1992). Material-specific memory loss in probable Alzheimer's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, *55*(12), 1177-1181.
- Belleville, S., Clément, F., Mellah, S., Gilbert, B., Fontaine, F., & Gauthier, S. (2011). Training-related brain plasticity in subjects at risk of developing Alzheimer's disease. *Brain*, *134*(Pt 6), 1623-1634.
- Belleville, S., Gilbert, B., Fontaine, F., Gagnon, L., Menard, E., & Gauthier, S. (2006). Improvement of episodic memory in persons with mild cognitive impairment and healthy older adults: Evidence from a cognitive intervention program. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, *22*(5-6), 486-499.

- Bernardi, L., Porta, C., & Sleight, P. (2006). Cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory changes induced by different types of music in musicians and non musicians : The importance of silence. *Heart*, *92*, 445-452.
- Bernsten, D., & Rubin, D. C. (2002). Emotionally charged autobiographical memories across the life span: The recall of happy, sad, traumatic, and involuntary memories. *Psychology and Aging*, *17*(4), 636-652.
- Besson, M., Chobert, J., & Marie, C. (2011). Transfer of training between music and speech: Common processing, attention, and memory. *Frontiers in Psychology*, *2*, 1-12.
- Besson, M., Schön, D., Moreno, S., Santos, A., & Magne, C. (2007). Influence of musical expertise and musical training on pitch processing in music and language. *Restorative Neurology and Neuroscience*, *25*(3-4), 399-410.
- Bherer, L., Belleville, S., & Hudon, C. (2004). Le déclin des fonctions exécutives au cours du vieillissement normal, dans la maladie d'Alzheimer et dans la démence fronto-temporale. *Psychologie et Neuropsychiatrie du Vieillessement*, *2*(3), 181-189.
- Bidelman, G. M., Krishnan, A., & Gandour, J. T. (2011). Enhanced brainstem encoding predicts musicians' perceptual advantages with pitch. *The European Journal of Neuroscience*, *33*(3), 530-538.
- Bier, N., Desrosiers, J., & Gagnon, L. (2006). Prise en charge cognitive de la mémoire dans le vieillissement normal, les troubles cognitifs légers et la démence de type Alzheimer. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, *73*(1), 26-35.
- Bier, N., Van Der Linden, M., Gagnon, L., Desrosiers, J., Adam, S., Louveaux, S., & Saint-Mieux, J. (2008). Face-name association learning in early Alzheimer's disease: A comparison of learning methods and their underlying mechanisms. *Neuropsychological Rehabilitation*, *18*(3), 343-371.
- Bigand, E., Filipic, S., & Lalitte, P. (2005). The time course of emotional responses to music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1060*, 429-437.
- Blanchet, S., Belleville, S., & Peretz, I. (2006). Episodic encoding in normal aging: Attentional resources hypothesis extended to musical material. *Neuropsychology, Development, and Cognition. Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition*, *13*(3-4), 490-502.
- Blood, A. J., & Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *98*(20), 11818-11823.
- Bosnyak, D. J., Eaton, R. A., & Roberts, L. E. (2004). Distributed auditory cortical representations are modified when non-musicians are trained at pitch discrimination with 40 Hz amplitude modulated tones. *Cerebral Cortex*, *14*, 1088-1099.

- Bottiroli, S., Cavallini, E., & Vecchi, T. (2008). Long-term effects of memory training in the elderly: A longitudinal study. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 47(2), 277-289.
- Bouazzaoui, B., M., I., Fay, S., Angel, L., Vanneste, S., Clarys, D., & Tacconnat, L. (2010). Aging and self-reported internal and external memory strategy uses: The role of executive functioning. *Acta Psychologica*, 135(1), 59-66.
- Boucheix, J.-M., & Rouet, J.-F. (2007). Les animations interactives multimédias sont elles efficaces pour les apprentissages ? *Revue Française de Pédagogie*, 160, 133-156.
- Bower, G. H. (1981). Mood and memory. *The American Psychologist*, 36(2), 129-148.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (2000). Affective reactions to acoustic stimuli. *Psychophysiology*, 37(2), 204-215.
- Brandler, S., & Rammsayer, T. H. (2003). Differences in mental abilities between musicians and non musicians. *Psychology of music*, 31(2), 123-138.
- Bravo, G., Gaulin, P., & Dubois, M.-F. (1996). Validation d'une échelle de bien-être général auprès d'une population francophone âgée de 50 à 75 ans. *La Revue Canadienne du Vieillessement*, 15(1), 112-128.
- Brooks, J. O., Friedman, L., & Yesavage, J. A. (1993). A study of the problems older adults encounter when using a mnemonic technique. *International Psychogeriatrics*, 5(1), 57-65.
- Brottons, M., & Koger, S. M. (2000). The impact of music therapy on language functioning in dementia. *Journal of Music Therapy*, 37(3), 183-195.
- Brown, R. M., & Palmer, C. (2012). Auditory-motor learning influences auditory memory for music. *Memory and Cognition*.
- Brown, S., & Martinez, M. J. (2007a). Activation of premotor vocal areas during musical discrimination. *Brain and Cognition*, 63(1), 59-69.
- Brown, S., & Martinez, M. J. (2007b). Activation of premotor vocal areas during musical discrimination. *Brain and Cognition*, 63, 59-69.
- Brown, S., Martinez, M. J., & Parsons, L. M. (2006). The neural basis of human dance. *Cerebral Cortex*, 16(8), 1157-1167.
- Buchanan, T. W. (2007). Retrieval of emotional memories. *Psychological Bulletin*, 133(5), 761-779.
- Buchanan, T. W., & Lovallo, W. R. (2001). Enhanced memory for emotional material following stress-level cortisol treatment in humans. *Psychoneuroendocrinology*, 26(3), 307-317.

- Bugajska, A., Clarys, D., Jarry, C., Tacconnat, L., Tapia, G., Vanneste, S., & Isingrini, M. (2007). The effect of aging in recollective experience: The processing speed and executive functioning hypothesis. *Consciousness and Cognition, 16*(4), 797-808.
- Bugos, J. A., Perlstein, W. M., McCrae, C. S., Brophy, T. S., & Bedenbaugh, P. H. (2007). Individualized piano instruction enhances executive functioning and working memory in older adults. *Aging & Mental Health, 11*(4), 464-471.
- Butzlaff, R. (2000). Can music be used to teach reading? *Journal of Aesthetic Education, 34*, 167-178.
- Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults: The HAROLD model. *Psychology and Aging, 17*(1), 85-100.
- Cahill, L., & McGaugh, J. L. (1998). Mechanisms of emotional arousal and lasting declarative memory. *Trends in Neurosciences, 21*(7), 294-299.
- Callan, D. E., Tsytsarev, V., Hanakawa, T., Callan, A. M., Katsuhara, M., Fukuyama, H., & Turner, R. (2006). Song and speech: Brain regions involved with perception and covert production. *Neuroimage, 31*, 1327-1342.
- Calvert, S. L., & Billingsley, R. L. (1998). Young children's recitation and comprehension of information presented by songs. *Journal of Applied Developmental Psychology, 19*, 97-108.
- Calvert, S. L., & Tart, M. (1993). Song versus verbal forms for verylong-term, long-term, and short-term verbatim recall. *Journal of Applied Developmental Psychology, 14*, 245-260.
- Carlesimo, G. A., & Oscar-Berman, M. (1992). Memory deficits in Alzheimer's disease: A comprehensive review. *Neuropsychology Review, 3*, 119-169.
- Casby, J. A., & Holm, M. B. (1994). The effect of music on repetitive disruptive vocalizations of persons with dementia. *The American Journal of Occupational Therapy, 48*(10), 883-889.
- Castel, A. D., & Craik, F. I. (2003). The effects of aging and divided attention on memory for item and associative information. *Psychology and Aging, 18*(4), 873-885.
- Cevasco, A. M. (2010). Effects of the therapist's nonverbal behavior on participation and affect of individuals with Alzheimer's disease during group music therapy sessions. *Journal of Music Therapy, 47*(3), 282-299.
- Cevasco, A. M., & Grant, R. E. (2003). Comparison of different methods for eliciting exercise-to-music for clients with Alzheimer's disease. *Journal of Music Therapy, 40*(1), 41-56.
- Chalfonte, B. L., & Johnson, M. K. (1996). Feature memory and binding in young and older adults. *Memory and Cognition, 24*(4), 403-416.

- Chan, A. S., Ho, Y. C., & Cheung, M. C. (1998). Music training improves verbal memory. *Nature*, 396(6707), 128.
- Chartrand, J. P., & Belin, P. (2006). Superior voice timbre processing in musicians. *Neuroscience Letters*, 405(3), 164-167.
- Chazin, S., & Neuschatz, J. S. (1990). Using a mnemonic to aid in the recall of unfamiliar information. *Perceptual and Motor Skills*, 71, 1067-1071.
- Chen, J. L., Zatorre, R. J., & Penhune, V. B. (2006). Interactions between auditory and dorsal premotor cortex during synchronization to musical rhythms. *Neuroimage*, 32(4), 1771-1781.
- Christianson, S.-A. (1992). Emotional stress and eyewitness memory: A critical review. *Psychological Bulletin*, 112(2), 284-309.
- Clare, L., Woods, R. T., Moniz Cook, E. D., Orrell, M., & Spector, A. (2003). Cognitive rehabilitation and cognitive training for early-stage Alzheimer's disease and vascular dementia. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 4, CD003260.
- Clément, S., Tonini, A., Khatir, F., Schiaratura, L., & Samson, S. (in press). Short and longer term effects of musical intervention in severe Alzheimer disease. *Music Perception*, 29.
- Cook, G. I., Marsh, R. L., & Hicks, J. L. (2005). Revisiting the role of recollection in item versus forced-choice recognition memory. *Psychonomic Bulletin and Review*, 12(4), 720-725.
- Cowles, A., Beatty, W. W., Nixon, S. J., Lutz, L. J., Paulk, J., Paulk, K., & Ross, E. D. (2003). Musical skill in dementia: A violinist presumed to have Alzheimer's disease learns to play a new song. *Neurocase*, 9(6), 493-503.
- Craik, F. I. M. (1999). Age-related changes in human memory. In D. Park & N. Schwarz (Eds.), *Cognitive Aging - A Primer* (pp. 75-92). Philadelphia: Psychology Press.
- Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11(6), 671-684.
- Craik, F. I. M., & Rose, N. S. (2011). Memory encoding and aging: A neurocognitive perspective. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*.
- Craik, F. I. M., & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 104(3), 268-294.
- Crowder, R. G., Serafine, M. L., & Repp, B. (1990). Physical interaction and association by contiguity in memory for the words and melodies of songs. *Memory and Cognition*, 18(5), 469-476.
- Crystal, H. A., Grober, E., & Masur, D. (1989). Preservation of musical memory in Alzheimer's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 52(12), 1415-1416.

- Cuddy, L. L., & Duffin, J. (2005). Music, memory and Alzheimer's disease: is music recognition spared in dementia, and how can it be assessed? *Medical Hypotheses*, *64*, 229-235.
- D'Ausilio, A., Altenmüller, E., Olivetti Belardinelli, M., & Lotze, M. (2006). Cross-modal plasticity of the motor cortex while listening to a rehearsed musical piece. *The European Journal of Neuroscience*, *24*(3), 955-958.
- Danet, S., Cocagne, N., & Fourcade, A. (2011). L'état de santé de la population en France (Vol. 747). Paris: Direction de la Recherche, des Études, de l'Évaluation et des Statistiques (DREES).
- De Renzi, E., & Vignolo, L. A. (1962). The token test: A sensitive test to detect receptive disturbances in aphasics. *Brain*, *85*(4), 665-678.
- Deffler, S. A., & Halpern, A. R. (2011). Contextual information and memory for unfamiliar tunes in older and younger adults. *Psychology and Aging*, *26*(4), 900-904.
- Dell, F. (1989). Concordances rythmiques entre la musique et les paroles dans le chant. L'accent de l'e muet dans la chanson française. In M. Dominicy (Ed.), *Le Soucis des Apparences* (pp. 121-136). Bruxelles: Université de Bruxelles.
- Deweer, B., Pillon, B., Michon, A., & Dubois, B. (1993). Mirror reading in Alzheimer's disease: normal skill learning and acquisition of item-specific information. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *15*(5), 789-804.
- Dickson, D., & Grant, L. (2003). Physics karaoke: Why not? *Physics Education*, *4*, 320-323.
- Dorrego, M. F., Sabe, L., Garcia Cuerva, A., Kuzis, G., Tiberti, C., Boller, F., & Starkstein, S. E. (1999). Remote memory in Alzheimer's disease. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, *11*(4), 490-497.
- Dowling, W. J. (1973). Rhythmic groups and subjective chunks in memory for melodies. *Perception and Psychophysics*, *14*, 37-40.
- Dowling, W. J., Bartlett, J. C., Halpern, A. R., & Andrews, W. M. (2008). Melody recognition at fast and slow tempos: effects of age, experience, and familiarity. *Perception and Psychophysics*, *70*(3), 496-502.
- Dowling, W. J., Tillmann, B., & Ayers, D. F. (2001). Memory and the experience of hearing music. *Music Perception*, *19*(2), 249-276.
- Drake, C., Penel, A., & Bigand, E. (2000). Tapping in time with mechanically and expressively performed music. *Music Perception*, *18*, 1-25.
- Drapeau, J., Gosselin, N., Gagnon, L., Peretz, I., & Lorrain, D. (2009). Emotional recognition from face, voice, and music in dementia of the Alzheimer type. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1169*, 342-345.

- Driver, A. (1936). *Music and Movement*. London: Oxford University Press.
- Dubois, B., Feldman, H. H., Jacova, C., Cummings, J. L., Dekosky, S. T., Barberger-Gateau, P., . . . Scheltens, P. (2010). Revising the definition of Alzheimer's disease: A new lexicon. *Lancet Neurology*, 9(11), 1118-1127.
- Dujardin, K., & Lemaire, P. (2008). *Neuropsychologie du vieillissement normal et pathologique*: Elsevier Masson.
- Ebbinghaus, H. (1885 / 1913). *Memory: A contribution to experimental psychology* (H. A. Ruger & C. E. Bessenius, Trans.). New York: Teachers College, Columbia University.
- Edith Frank, J., & Tomaz, C. (2003). Lateralized impairment of the emotional enhancement of verbal memory in patients with amygdala-hippocampus lesion. *Brain and Cognition*, 52(2), 223-230.
- Ehrlé, N. (1998). *Traitement temporel de l'information auditive et lobe temporal*. Unpublished doctoral dissertation, Université de Reims, Reims.
- Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B., & Taub, E. (1995). Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, 270, 305-307.
- Eldridge, L. L., Masterman, D., & Knowlton, B. J. (2002). Intact implicit habit learning in Alzheimer's disease. *Behavioral Neuroscience*, 116(4), 722-726.
- Emery, V. O. (2000). Language impairment in dementia of the Alzheimer type: A hierarchical decline? *International Journal of Psychiatry in Medicine*, 30(2), 145-164.
- Eschrich, S., Münte, T. F., & Altenmüller, E. O. (2005). Remember Bach: An investigation in episodic memory for music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060, 438-442.
- Eschrich, S., Münte, T. F., & Altenmüller, E. O. (2008). Unforgettable film music: The role of emotion in episodic long-term memory for music. *BMC Neuroscience*, 28, 9-48.
- Feyereisen, P. (2009). Enactment effects and integration processes in younger and older adults' memory for actions. *Memory*, 17(4), 374-385.
- Filipic, S., Tillmann, B., & Bigand, E. (2010). Judging familiarity and emotion from very brief musical excerpts. *Psychonomic Bulletin and Review*, 17(3), 335-341.
- Fleischman, D. A., & Gabrieli, J. D. (1998). Repetition priming in normal aging and Alzheimer's disease: A review of findings and theories. *Psychology and Aging*, 13(1), 88-119.
- Fleischman, D. A., Gabrieli, J. D., Gilley, D. W., Hauser, J. D., Lange, K. L., Dwornik, L. M., . . . Wilson, R. S. (1999). Word-stem completion priming in healthy aging and Alzheimer's disease: the effects of age, cognitive status, and encoding. *Neuropsychology*, 13(1), 22-30.

- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). Mini Mental State: A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research, 12*, 189-198.
- Fornazzari, L., Castle, T., Nadkarni, S., Ambrose, M., Miranda, D., Apanasiewicz, N., & Phillips, F. (2006). Preservation of episodic musical memory in a pianist with Alzheimer disease. *Neurology, 66*(4), 610-611.
- Forti, S., Filippini, E., Di Berardino, F., Barozzi, S., & Cesarani, A. (2010). The influence of music on static posturography. Journal of vestibular research. *Journal of Vestibular Research: Equilibrium & Orientation, 20*(5), 351-356.
- Foster, N. A., & Valentine, E. R. (2001). The effect of auditory stimulation on autobiographical recall in dementia. *Experimental Aging Research, 27*, 215-228.
- Fowler, K. S., Saling, M. M., Conway, E. L., Semple, J. M., & Louis, W. J. (2002). Paired associate performance in the early detection of DAT. *Journal of the International Neuropsychological Society, 8*(1), 58-71.
- Fujioka, T., Ross, B., Kakigi, R., Pantev, C., & Trainor, L. J. (2006). One year of musical training affects development of auditory cortical-evoked fields in young children. *Brain, 129*(10), 2593-2608.
- Fukui, H. (2001). Music and testosterone: A new hypothesis for the origin and function of music. *Annals of the New York Academy of Sciences, 930*, 448-451.
- Fukui, H., & Toyoshima, K. (2008). Music facilitate the neurogenesis, regeneration and repair of neurons. *Medical Hypotheses, 71*(5), 765-769.
- Gagnon, L., Peretz, I., & Fülöp, T. (2009). Musical structural determinants of emotional judgments in dementia of the Alzheimer type. *Neuropsychology, 23*(1), 90-97.
- Gallez, C. (2005). Rapport sur la maladie d'Alzheimer et les maladies apparentées *Office parlementaire d'évaluation des politiques de santé* (Vol. 2454). Paris: Assemblée Nationale.
- Gardiner, J. M., & Java, R. I. (1990). Recollective experience in word and nonword recognition. *Memory and Cognition, 18*(1), 23-30.
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *Journal of Neuroscience, 23*(27), 9240-9245.
- Gaston, E. T. (1951). Dynamic music factors in mood change. *Music Educators Journal, 37*(4), 42-44.
- Gaudreau, D., & Peretz, I. (1999). Implicit and explicit memory for music in old and young adults. *Brain and Cognition, 40*, 126-129.

- Giffard, B. (2001). Le vieillissement de la mémoire : Vieillissement normal et pathologique. *Gérontologie et Société*, 2(97), 33-47.
- Gingold, H., & Abravanel, E. (1987). Music as a mnemonic: The effects of good - and bad - music settings on verbatim recall of short passages by young children. *Psychomusicology*, 7, 25-39.
- Gomez, P., & Danuser, B. (2007). Relationships between musical structure and psychophysiological measures of emotion. *Emotion*, 7(377-387).
- Gosselin, N., Peretz, I., Johnsen, E., & Adolphs, R. (2007). Amygdala damage impairs emotion recognition from music. *Neuropsychologia*, 45(2), 236-244.
- Götell, E., Brown, S., & Ekman, S. L. (2003). Influence of caregiver singing and background music on posture, movement, and sensory awareness in dementia care. *International Psychogeriatrics*, 15(4), 411-430.
- Götell, E., Brown, S., & Ekman, S. L. (2009). The influence of caregiver singing and background music on vocally expressed emotions and moods in dementia care: A qualitative analysis. *International Journal of Nursing Studies*, 46(4), 422-430.
- Grahn, J. A. (2009). The role of the basal ganglia in beat perception: Neuroimaging and neuropsychological investigations. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 35-45.
- Grant, M. D., & Brody, J. A. (2004). Musical experience and dementia. Hypothesis. *Aging Clinical and Experimental Research*, 16, 403-405.
- Greenwood, P. M. (2007). Functional plasticity in cognitive aging: Review and hypothesis. *Neuropsychology*, 21(6), 657-673.
- Groussard, M., La Joie, R., Rauchs, G., Landeau, B., Chételat, G., Viader, F., . . . Platel, H. (2010). When music and long-term memory interact: Effects of musical expertise on functional and structural plasticity in the hippocampus. *PLoS One*, 5(10), e13225.
- Groussard, M., Viader, F., Hubert, V., Landeau, B., Abbas, A., Desgranges, B., . . . Platel, H. (2010). Musical and verbal semantic memory: Two distinct neural networks? *Neuroimage*, 49(3), 2764-2773.
- Groussard, M., Viader, F., Landeau, B., Desgranges, B., Eustache, F., & Platel, H. (2009). Neural correlates underlying musical semantic memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 278-281.
- Guétin, S., Portet, F., Picot, M. C., Pommié, C., Messaoudi, M., Djabelkir, L., . . . Touchon, J. (2009). Effect of music therapy on anxiety and depression in patients with Alzheimer's type dementia: Randomised, controlled study. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 28(1), 36-46.

- Haas, F., Distenfeld, S., & Axen, K. (1986). Effects of perceived musical rhythm on respiratory pattern. *Journal of Applied Physiology*, *61*(3), 1185-1191.
- Habib, M., & Besson, M. (2008). Langage, musique et plasticité cérébrale : Perspectives pour la rééducation. *Revue de Neuropsychologie*, *18*(1), 103-126.
- Halpern, A. R., & Bartlett, J. C. (2002). Aging and memory for music: A review. *Psychomusicology*, *18*, 10-27.
- Halpern, A. R., Bartlett, J. C., & Dowling, W. J. (1995). Aging and experience in the recognition of musical transpositions. *Psychology and Aging*, *10*(3), 325-342.
- Halpern, A. R., Kwak, S. Y., Bartlett, J. C., & Dowling, W. J. (1996). Effects of aging and musical experience on the representation of tonal hierarchies. *Psychology and Aging*, *11*(2), 235-246.
- Halpern, A. R., & O'Connor, M. G. (2000). Implicit memory for music in Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, *14*(3), 391-397.
- Hamann, S. B., Ely, T. D., Grafton, S. T., & Kilts, C. D. (1999). Amygdala activity related to enhanced memory for pleasant and aversive stimuli. *Nature Neuroscience*, *2*(3), 289-293.
- Hanna-Pladdy, B., & MacKay, A. (2011). The relation between instrumental musical activity and cognitive aging. *Neuropsychology*, *25*(3), 378-386.
- Hannon, E. E., Snyder, J. S., Eerola, T., & Krumhansl, C. L. (2004). The role of melodic and temporal cues in perceiving musical meter. *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception and Performance*, *30*(5), 956-974.
- Hannon, E. E., & Trainor, L. J. (2007). Music acquisition: effects of enculturation and formal training on development. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*(11), 466-472.
- Hébert, S., & Peretz, I. (1997). Recognition of music in long-term memory: Are melodic and temporal patterns equal partners? *Memory and Cognition*, *25*(4), 518-533.
- Hébert, S., & Peretz, I. (2001). Are text and tune of familiar songs separable by brain damage ? *Brain and Cognition*, *46*, 169-175.
- Herdener, M., Esposito, F., di Salle, F., Boller, C., Hilti, C. C., Habermeyer, B., . . . Cattapan-Ludewig, K. (2010). Musical training induces functional plasticity in human hippocampus. *Journal of Neuroscience*, *30*(4), 1377-1384.
- Hester, R. L., Kinsella, G. J., & Ong, B. (2004). Effect of age on forward and backward span tasks. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, *10*(4), 475-481.
- Heyn, P., Abreu, B. C., & Ottenbacher, K. J. (2004). The effects of exercise training on elderly persons with cognitive impairment and dementia: A meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *85*(10), 1694-1704.

- Hickok, G., Buchsbaum, B., Humphries, C., & Muftuler, Y. (2003). Auditory-motor interaction revealed by fMRI: Speech, music, and working memory in area Spt. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *15*, 673-682.
- Ho, Y. C., Cheung, M. C., & Chan, A. S. (2003). Music training improves verbal but not visual memory: Cross-sectional and longitudinal explorations in children. *Neuropsychology*, *17*(3), 439-450.
- Holmes, C., Knights, A., Dean, C., Hodkinson, S., & Hopkins, V. (2006). Keep music live: Music and the alleviation of apathy in dementia subjects. *International Psychogeriatrics*, *18*(4), 623-630.
- Hussey, E. P., Smolinsky, J. G., Piryatinsky, I., Budson, A. E., & Ally, B. A. (2011). Using mental imagery to improve memory in patients with Alzheimer disease: Trouble generating or remembering the mind's eye? *Alzheimer Disease and Associated Disorders*, *26*(2), 124-134.
- Hyde, K. L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. C., & Schlaug, G. (2009). Musical training shapes structural brain development. *Journal of Neuroscience*, *29*(10), 3019-3025.
- Iacoboni, M., Woods, R. P., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science*, *286*, 2526-2528.
- INSERM. (2007). *Maladie d'Alzheimer : Enjeux scientifiques, médicaux et sociétaux. Expertise collective Les Éditions Inserm*. Paris: Institut national de la santé et de la recherche scientifique (Inserm).
- Irish, M., Cunningham, C. J., Walsh, J. B., Coakley, D., Lawlor, B. A., Robertson, I. H., & Coen, R. F. (2006). Investigating the enhancing effect of music on autobiographical memory in mild Alzheimer's disease. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, *22*, 108-120.
- Isingrini, M., & Tacconat, L. (2008). Mémoire épisodique, fonctionnement frontal et vieillissement. *Revue Neurologique*, *164*(S3), 91-95.
- Jamblique. (2009). *Vie de Pythagore*: Les Belles Lettres.
- Janata, P. (2005). Brain networks that track musical structure. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1060*, 111-124.
- Janata, P. (2009). The neural architecture of music-evoked autobiographical memories. *Cerebral Cortex*, *19*(11), 2579-2594.
- Janata, P., Tomic, S. T., & Rakowski, S. K. (2007). Characterization of music-evoked autobiographical memories. *Memory*, *15*(8), 845-860.
- Jäncke, L. (2008). Music, memory and emotion. *Journal of Biology*, *7*(6), 21.

- Jäncke, L., Gaab, N., Wüstenberg, T., Scheich, H., & Heinze, H.-R. (2001). Short-term functional plasticity in the human auditory cortex: An fMRI study. *Cognitive Brain Research*, *12*(3), 479-485.
- Jäncke, L., Schlaug, G., & Steinmetz, H. (1997). Hand Skill Asymetry in Professional Musicians. *Brain and Cognition*, *34*(3), 424-432.
- Jellison, J. A., & Miller, N. I. (1982). Recall of digit and word sequences by musicians and nonmusicians as a function of spoken or sung input and task. *Journal of Music Therapy*, *19*(4), 194-209.
- Johnson, J. K., Chang, C. C., Brambati, S. M., Migliaccio, R., Gorno-Tempini, M. L., Miller, B. L., & Janata, P. (2011). Music recognition in frontotemporal lobar degeneration and Alzheimer disease. *Cognitive and Behavioral Neurology*, *24*(2), 74-84.
- Jones, M. R., & Yee, W. (1993). Attending to auditory events: The role of temporal organization. In S. Mc Adams & E. Bigand (Eds.), *Thinking in sound: The cognitive psychology of human audition* (pp. 69-112). New York, NY: Oxford University Press.
- Jones, S., Nyberg, L., Sandblom, J., Stigsdotter Neely, A., Ingvar, M., Magnus Petersson, K., & Bäckman, L. (2006). Cognitive and neural plasticity in aging: General and task-specific limitations. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *30*(6), 864-871.
- Juslin, P. N., & Västfjäll, D. (2008). Emotional responses to music: The need to consider underlying mechanisms. *Behavioral and Brain Sciences*, *31*(5), 559-575.
- Kensinger, E. A., & Corkin, S. (2003). Memory enhancement for emotional words: Are emotional words more vividly remembered than neutral words? *Memory and Cognition*, *31*(8), 1169-1180.
- Kessels, R. P., & De Haan, E. H. (2003). Implicit learning in memory rehabilitation: A meta-analysis on errorless learning and vanishing cues methods. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *25*(6), 805-814.
- Kessels, R. P., Hobbel, D., & Postma, A. (2007). Aging, context memory and binding: A comparison of "what, where and when" in young and older adults. *International Journal of Neuroscience*, *117*(6), 795-810.
- Khalfa, S., Dalla Bella, S., Roy, M., Peretz, I., & Blondin, J. P. (2003). Effects of relaxing music on salivary cortisol level after psychological stress. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *999*, 374-376.
- Kilgour, A. R., Jakobson, L. S., & Cuddy, L. L. (2000). Music training and rate of presentation as mediators of text and song recall. *Memory and Cognition*, *28*(5), 700-710.
- Koelsch, S. (2005). Neural substrates of processing syntax and semantics in music. *Current Opinion in Neurobiology*, *15*, 1-6.

- Koger, S. M., & Brotons, M. (2000). Music therapy for dementia symptoms. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 3, CD001121.
- Koger, S. M., Chapin, K., & Brotons, M. (1999). Is music therapy an effective intervention for dementia? A meta-analytic review of literature. *Journal of Music Therapy*, 36(1), 2-15.
- Korenman, L. M., & Peynircioglu, Z. F. (2004). The role of familiarity in episodic memory and metamemory for music. *Journal of Experimental Psychology: Learning, memory and Cognition*, 30(4), 917-922.
- Kormi-Nouri, R. (1995). The nature of memory for action events: An episodic integration view. *European Journal of Cognitive Psychology*, 7(4), 337-363.
- Kraus, N., & Chandrasekaran, B. (2010). Music training for the development of auditory skills. *Nature Reviews. Neuroscience*, 11(8), 599-605.
- Kreutz, G., Bongard, S., Rohrman, S., Hodapp, V., & Grebe, G. (2004). Effects of choir singing or listening on secretory immunoglobulin A, cortisol, and emotional state. *Journal of Behavioral Medicine*, 27(6), 623-633.
- Kurlan, R., Richard, I. H., Papka, M., & Marshall, F. (2000). Movement disorders in Alzheimer's disease: More rigidity of definitions is needed. *Movement Disorders*, 15(1), 24-29.
- Kurylo, D. D., Corkin, S., Allard, T., Zatorre, R. J., & Growdon, J. H. (1993). Auditory function in Alzheimer's disease. *Neurology*, 43(10), 1893-1899.
- LaBar, K. S., & Cabeza, R. (2006). Cognitive neuroscience of emotional memory. *Nature Reviews. Neuroscience*, 7(1), 54-64.
- Lahav, A., Saltzman, E., & Schlaug, G. (2007). Action representation of sound: audiomotor recognition network while listening to newly acquired actions. *Journal of Neuroscience*, 27(2), 308-314.
- Laisney, M., Giffard, B., & Eustache, F. (2004). La mémoire sémantique dans la maladie d'Alzheimer : Apports de l'étude des effets d'amorçage. *Psychologie et Neuropsychiatrie du Vieillissement*, 2(2), 107-115.
- Latendresse, C., Larivée, S., & Miranda, D. (2006). La portée de l'« effet Mozart ». Succès souvenirs, fausses notes et reprises. *Canadian Psychology*, 47(2), 125-141.
- Lee, C. Y., & Hung, T. H. (2008). Identification of Mandarin tones by English-speaking musicians and nonmusicians. *Journal of Acoustical Society of America*, 125(5), 3235-3248.
- Lee, D. J., Chen, Y., & Schlaug, G. (2003). Corpus callosum: musician and gender effects. *Neuroreport*, 14(2), 205-209.
- Lerdahl, F., & Jackendoff, R. (1983). *A generative theory of tonal music*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Levitin, D. J., & Tirovolas, A. K. (2009). Current advances in the cognitive neuroscience of music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1156, 211-231.
- Light, L. L. (1991). Memory and aging: four hypotheses in search of data. *Annual Review of Psychology*, 42, 333-376.
- Lim, I., Van Wegen, E., De Goede, C., Deutekom, M., Nieuwboer, A., Willems, S., . . . Kwakkel, G. (2005). Effects of external rhythmical cueing on gait in patients with Parkinson's disease: A systematic review. *Clinical Rehabilitation*, 19(7), 695-713.
- Lima, C. F., & Castro, S. L. (2011). Emotion recognition in music changes across the adult life span. *Cognition and Emotion*, 25(4), 585-598.
- Limb, C. J. (2006). Structural and functional neural correlates of music perception. *The Anatomical Record. Part A, Discoveries in Molecular, Cellular, and Evolutionary Biology*, 288(4), 435-446.
- Lindeboom, J., Schmand, B., Tulner, L., Walstra, G., & Jonker, C. (2002). Visual association test to detect early dementia of the Alzheimer type. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 73(2), 126-133.
- Logan, J. M., Sanders, A. L., Snyder, A. Z., Morris, J. C., & Buckner, R. L. (2002). Under-recruitment and nonselective recruitment: Dissociable neural mechanisms associated with aging. *Neuron*, 33(5), 827-840.
- Lord, T. R., & Garner, J. E. (1993). Effects of music on Alzheimer patients. *Perceptual and Motor Skills*, 76, 451-455.
- Lowe, R. K., & Boucheix, J. M. (2011). Cueing complex animations: Does direction of attention foster learning processes? *Learning and Instruction*, 21(5), 650-663.
- Luzzi, S., Piccirilli, M., & Provinciali, L. (2007). Perception of emotions on happy/sad chimeric faces in Alzheimer's disease: Relationship with cognitive functions. *Alzheimer Disease and Associated Disorders*, 21(2), 130-135.
- MacLeod, C. M., Gopie, N., Hourihan, K. L., Neary, K. R., & Ozubko, J. D. (2010). The production effect: Delineation of a phenomenon. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 36(3), 671-685.
- Maess, B., Koelsch, S., Gunter, T. C., & Friederici, A. D. (2001). Musical syntax is processed in Broca's area: An MEG study. *Nature Neuroscience*, 4(5), 540-545.
- Magne, C., Schön, D., & Besson, M. (2006). Musician children detect pitch violations in both music and language: Behavioral and electrophysiological approaches. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(199-211).
- Mahncke, H. W., Connor, B. B., Appelman, J., Ahsanuddin, O. N., Hardy, J. L., Wood, R. A., . . . Merzenich, M. M. (2006). Memory enhancement in healthy older adults using a brain

- plasticity-based training program: A randomized, controlled study. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(33), 12523-12528.
- Marie, C., Delogu, F., Lampis, G., Belardinelli, M. O., & Besson, M. (2011). Influence of musical expertise on segmental and tonal processing in Mandarin Chinese. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(10), 2701-2715.
- Marques, C., Moreno, S., Castro, S. L., & Besson, M. (2007). Musicians detect pitch violation in a foreign language better than nonmusicians: Behavioral and electrophysiological evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(9), 1453-1463.
- McAuley, J. D., Stevens, C., & Humphreys, M. S. (2004). Play it again: Did this melody occur more frequently or was it heard more recently? The role of stimulus familiarity in episodic recognition of music. *Acta Psychologica*, 116(1), 93-108.
- McElhinney, M., & Annett, J. M. (1996). Pattern of efficacy of a musical mnemonic on recall of familiar words over several presentations. *Perceptual and Motor Skills*, 82(2), 395-400.
- McGaugh, J. L. (2004). The amygdala modulates the consolidation of memories of emotionally arousing experiences. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 1-28.
- McKhann, G., Drachman, D., Folstein, M., Katzman, R., Proce, D., & Stadlan, E. M. (1984). Clinical diagnosis of Alzheimer disease: report of the NINCDS-ADRDA work group under the auspices of Health and human services task force on Alzheimer's disease. *Neurology*, 34(7), 939-944.
- Medina, S. L. (1993). The effect of music on second language vocabulary acquisition. *National Network for Early Language Learning*, 6, 1-8.
- Ménard, M.-C., & Belleville, S. (2009). Musical and verbal memory in Alzheimer's disease: A study of long-term and short-term memory. *Brain and Cognition*, 71(1), 38-45.
- Merbah, S., Salmon, E., & Meulemans, T. (2011). Impaired acquisition of a mirror-reading skill in Alzheimer's disease. *Cortex*, 47(2), 157-165.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 975-978.
- Mitchell, K. J., Johnson, M. K., Raye, C. L., & D'Esposito, M. (2000). fMRI evidence of age-related hippocampal dysfunction in feature binding in working memory. *Brain Research*, 10(1-2), 197-206.
- Molinari, M., Leggio, M. G., De Martin, M., Cerasa, A., & Thaut, M. H. (2003). Neurobiology of rhythmic motor entrainment. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 313-321.
- Moore, K. S., Peterson, D. A., O'Shea, G., McIntosh, G. C., & Thaut, M. H. (2008). The effectiveness of music as a mnemonic device on recognition memory for people with multiple sclerosis. *Journal of Music Therapy*, 45(3), 307-329.

- Moreno, S., Bialystok, E., Barac, R., Schellenberg, E. G., Cepeda, N. J., & Chau, T. (2011). Short-term music training enhances verbal intelligence and executive function. *Psychological Science, 22*(11), 1425-1433.
- Moreno, S., Marques, C., Santos, A., Santos, M., Castro, S. L., & Besson, M. (2009). Musical training influences linguistic abilities in 8-year-old children: more evidence for brain plasticity. *Cerebral Cortex, 19*(3), 712-723.
- Moussard, A., Bigand, E., Belleville, S., & Peretz, I. (en prep). Utiliser la musique pour apprendre une séquence de gestes dans le vieillissement normal et la maladie d'Alzheimer.
- Moussard, A., Bigand, E., Belleville, S., & Peretz, I. (in prep). Music helps retention of new verbal information in normal aging and Alzheimer's disease.
- Moussard, A., Bigand, E., Belleville, S., & Peretz, I. (in press). Music as an aid to learn new verbal information in Alzheimer's disease. *Music Perception, 29*.
- Moussard, A., Bigand, E., Clément, S., & Samson, S. (2008). Préservation des apprentissages implicites en musique dans le vieillissement normal et la maladie d'Alzheimer. *Revue de Neuropsychologie, 18*(1-2), 127-152.
- Moussard, A., Rochette, F., & Bigand, E. (in press). La musique comme outil de stimulation cognitive. *L'Année Psychologique*.
- Münte, T. F., Altenmüller, E., & Jäncke, L. (2002). The musician's brain as a model of neuroplasticity. *Nature Reviews. Neuroscience, 3*(6), 473-478.
- Musacchia, G., Sams, M., Skoe, E., & Kraus, N. (2007). Musicians have enhanced subcortical auditory and audiovisual processing of speech and music. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104*(40), 15894-15898.
- Nairne, J. S., Thompson, S. R., & Pandeirada, J. N. (2007). Adaptive memory: Survival processing enhances retention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 33*(3), 263-273.
- Nantais, K. M., & Schellenberg, E. G. (1999). The Mozart Effect: An Artifact of Preference. *Psychological Science, 10*(4), 370-373.
- Nashiro, K., & Mather, M. (2011). Effects of emotional arousal on memory binding in normal aging and Alzheimer's disease. *The American Journal of Psychology, 124*(3), 301-312.
- Naveh-Benjamin, M., Brav, T. K., & Levy, O. (2007). The associative memory deficit of older adults: The role of strategy utilization. *Psychology and Aging, 22*(1), 202-208.
- Naveh-Benjamin, M., Guez, J., Kilb, A., & Reedy, S. (2004). The associative memory deficit of older adults: Further support using face-name associations. *Psychology and Aging, 19*(3), 541-546.

- New, B., Pallier, C., Ferrand, L., & Matos, R. (2001). Une base de données lexicales du français contemporain sur internet : LEXIQUE. *L'Année Psychologique*, 101(447-462).
- Norberg, A., Melin, E., & Asplund, K. (2003). Reactions to music, touch and object presentation in the final stage of dementia: an exploratory study. *International Journal of Nursing Studies*, 40(5), 473-479.
- Ogay, S., Ploton, L., & Menuhin, Y. (1996). *Alzheimer, Communiquer grâce à la musicothérapie*: L'Harmattan.
- Omar, R., Hailstone, J. C., Warren, J. E., Crutch, S. J., & Warren, J. D. (2010). The cognitive organization of music knowledge: a clinical analysis. *Brain*, 133(Pt 4), 1200-1213.
- Overy, K. (2003). Dyslexia and music. From timing deficits to musical intervention. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999(497-505).
- Overy, K., & Turner, R. (2009). The rhythmic brain. *Cortex*, 45(1), 1-3.
- Paivio, A. (1967). Paired-associate learning and free recall of nouns as a function of concreteness, specificity, imagery, and meaningfulness. *Psychological Reports*, 20(1), 239-245.
- Paivio, A., Clark, J. M., & Khan, M. (1988). Effects of concreteness and semantic relatedness on composite imagery ratings and cued recall. *Memory and Cognition*, 16(5), 422-430.
- Pantev, C., & Herholz, S. C. (2011). Plasticity of the human auditory cortex related to musical training. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 35(10), 2140-2154.
- Pantev, C., Roberts, L. E., Schulz, M., Engelien, A., & Ross, B. (2001). Timbre specific enhancement of auditory cortical representations in musicians. *Neuroreport*, 12, 169-174.
- Pantev, C., Ross, B., Fujioka, T., Trainor, L. J., Schulte, M., & Schulz, M. (2003). Music and learning-induced cortical plasticity. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 438-450.
- Pantev, C., Wollbrink, A., Roberts, L. E., Engelien, A., & Lütkenhöner, B. (1999). Short-term plasticity of the human auditory cortex. *Brain Research*, 842, 192-199.
- Paolo, A. M., Troster, A. I., & Ryan, J. J. (1997). California verbal learning test: Normative data for the elderly. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 19(2), 220-234.
- Parbery-Clark, A., Skoe, E., Lam, C., & Kraus, N. (2009). Musician enhancement for speech-in-noise. *Ear and Hearing*, 30(6), 653-661.
- Parbery-Clark, A., Strait, D. L., Anderson, S., Hittner, E., & Kraus, N. (2011). Musical experience and the aging auditory system: Implications for cognitive abilities and hearing speech in noise. *PLoS One*, 6(5), e18082.

- Park, D. C., Smith, A. D., Lautenschlager, G., Earles, J. L., Frieske, D., Zwahr, M., & Gaines, C. L. (1996). Mediators of long-term memory performance across the life span. *Psychology and Aging, 11*(4), 621-637.
- Parra, M. A., Abrahams, S., Fabi, K., Logie, R., Luzzi, S., & Della Sala, S. (2009). Short-term memory binding deficits in Alzheimer's disease. *Brain, 132*(4), 1057-1066.
- Patel, A. D. (2003). Language, music, syntax and the brain. *Nature Neuroscience, 6*(7), 674-681.
- Patel, A. D. (2008). *Music, language, and the brain*. New York: Oxford University Press.
- Patel, A. D. (2010). Music, biological evolution, and the brain. In M. Bailar (Ed.), *Emerging Disciplines* (pp. 91-144). Houston: TX: Rice University Press.
- Patel, A. D., Gibson, E., Ratner, J., Besson, M., & Holcomb, P. J. (1998). Processing syntactic relations in language and music: An event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 10*(6), 717-733.
- Patel, A. D., Iversen, J. R., Chen, Y., & Repp, B. H. (2005). The influence of metricality and modality on synchronization with a beat. *Experimental Brain Research, 163*(2), 226-238.
- Peretz, I. (1996). Can we lose memories for music? The case of music agnosia in a nonmusician. *Journal of Cognitive Neuroscience, 8*(6), 481-496.
- Peretz, I. (2002). Brain specialization for music. *Neuroscientist, 8*(4), 372-380.
- Peretz, I. (2009). Music, language and modularity in action. In P. Rebuschat, M. Rohrmeier, J. Hawkins & I. Cross (Eds.), *Language and Music as Cognitive Systems*: Oxford University Press.
- Peretz, I., Blood, A. J., Penhune, V. B., & Zatorre, R. J. (2001). Cortical deafness to dissonance. *Brain, 124*(5), 928-940.
- Peretz, I., Caron-Caplette, E., Gosselin, N., Nan, Y., Villeneuve, S., Béland, R., . . . Mignault, G. (in preparation). Almost everyone is musical: The child version of the Montreal Battery of Evaluation of Amusia.
- Peretz, I., Champod, S., & Hyde, K. (2003). Varieties of Musical Disorders: The Montreal Battery of Evaluation of Amusia. *Annals of the New York Academy of Sciences, 999*, 58-75.
- Peretz, I., & Coltheart, M. (2003). Modularity of music processing. *Nature Neuroscience, 6*(7), 688-691.
- Peretz, I., Gagnon, L., & Bouchard, B. (1998). Music and emotion: perceptual determinants, immediacy and isolation after brain damage. *Cognition, 68*, 111-141.

- Peretz, I., Gagnon, L., Hébert, S., & Macoir, J. (2004). Singing in the brain: Insights from cognitive neuropsychology. *Music Perception, 21*(3), 373-390.
- Peretz, I., Gosselin, N., Belin, P., Zatorre, R. J., Plailly, J., & Tillmann, B. (2009). Music lexical networks: The cortical organization of music recognition. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1169*, 256-265.
- Peretz, I., Gosselin, N., Tillmann, B., Cuddy, L. L., Gagnon, L., Trimmer, C. G., . . . Bouchard, B. (2008). On-line identification of congenital amusia. *Music Perception, 25*(4), 331-343.
- Peretz, I., Radeau, M., & Arguin, M. (2004). Two-way interactions between music and language: Evidence from priming recognition of tune and lyrics in familiar songs. *Memory and Cognition, 32*(1), 142-152.
- Peters, F., Collette, F., Degueldre, C., Sterpenich, V., Majerus, S., & Salmon, E. (2009). The neural correlates of verbal short-term memory in Alzheimer's disease: an fMRI study. *Brain, 132*(7), 1833-1846.
- Peterson, D. A., & Thaut, M. H. (2007). Music increases frontal EEG coherence during verbal learning. *Neuroscience Letters, 412*(3), 217-221.
- Phelps, E. A. (2004). Human emotion and memory: Interaction of the amygdala and hippocampal complex. *Current Opinion in Neurobiology, 14*, 198-202.
- Phillips-Silver, J., Toiviainen, P., Gosselin, N., Piché, O., Nozaradan, S., Palmer, C., & Peretz, I. (2011). Born to dance but beat deaf: A new form of congenital amusia. *Neuropsychologia, 49*, 961-969.
- Piolino, P., Martinelli, P., Viard, A., Noulhiane, M., Eustache, F., & Desgranges, B. (2010). Physiopathologie de la mémoire autobiographique dans le vieillissement : Distinction épisodique/sémantique, données cliniques et études en neuroimagerie. *Biologie Aujourd'hui, 204*(2), 159-179.
- Platel, H. (2005). Functional neuroimaging of semantic and episodic musical memory. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1060*, 136-147.
- Platel, H. (in prep). Ability to learn new songs in moderate to severe Alzheimer patients.
- Platel, H., Baron, J. C., Desgranges, B., Bernard, F., & Eustache, F. (2003). Semantic and episodic memory of music are subserved by distinct neural networks. *Neuroimage, 20*, 244-256.
- Platel, H., Moussard, A., & Francisco, J. (in prep). Utilisation de la musique pour faciliter l'activité de toilette chez des patients Alzheimer en institution.
- Polk, M., & Kertesz, A. (1993). Music and language in degenerative disease of the brain. *Brain and Cognition, 22*(1), 98-117.

- Poulin-Charronnat, B., Bigand, E., Lalitte, P., Madurell, F., Vieillard, S., & McAdams, S. (2004). Effect on instrumentation change on the recognition of musical materials. *Music Perception, 22*(2), 239-263.
- Pouliot, S., & Jones-Gotman, M. (2008). Medial temporal-lobe damage and memory for emotionally arousing odors. *Neuropsychologia, 46*(4), 1124-1134.
- Prickett, C. A., & Moore, R. S. (1991). The use of music to aid memory of Alzheimer's patients. *Journal of Music Therapy, 28*(2), 101-110.
- Purnell-Webb, P., & Speelman, C. P. (2008). Effects of music on memory for text. *Perceptual and Motor Skills, 106*, 927-957.
- Quoniam, N., Ergis, A.-M., Fossati, P., Peretz, I., Samson, S., Sarazin, M., & Allilaire, J.-F. (2003). Implicit and explicit emotional memory for melodies in Alzheimer's disease and depression. *Annals of the New York Academy of Sciences, 999*, 381-384.
- Racette, A., Bard, C., & Peretz, I. (2006). Making non-fluent aphasics speak: Sing along! *Brain, 129*, 2571-2584.
- Racette, A., & Peretz, I. (2007). Learning lyrics: To sing or not to sing? *Memory and Cognition, 35*(2), 242-253.
- Raglio, A., Bellelli, G., Traficante, D., Gianotti, M., Ubezio, M. C., Gentile, S., . . . Trabucchi, M. (2010). Efficacy of music therapy treatment based on cycles of sessions: a randomised controlled trial. *Aging and Mental Health, 14*(8), 900-904.
- Rainey, D. W., & Larsen, J. D. (2002). The effect of familiar melodies on initial learning and long-term memory for unconnected text. *Music Perception, 20*(2), 173-186.
- Rauscher, F. H., Shaw, G. L., & Ky, K. N. (1993). Music and spatial task performance. *Nature, 365*(6447), 661.
- Reber, P. J., Martinez, L. A., & Weintraub, S. (2003). Artificial grammar learning in Alzheimer's disease. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience, 3*(2), 145-153.
- Regard, M. (1981). *Cognitive rigidity and flexibility: A neuropsychological study*. Unpublished doctoral dissertation, University of Victoria, Victoria, Canada.
- Reichman, W. E., Fiocco, A. J., & Rose, N. S. (2010). Exercising the brain to avoid cognitive decline: Examining the evidence. *Future Medicine: Aging Health, 6*(5), 565-584.
- Repp, B. H., & Penel, A. (2004). Rhythmic movement is attracted more strongly to auditory than to visual rhythms. *Psychological Research, 68*(4), 252-270.
- Rey, A. (1970). *L'examen clinique en psychologie*. Paris: PUF.

- Rizzolatti, G., & Arbib, M. A. (1998). Language within our grasp. *Trends in Neurosciences*, 21(5), 188-194.
- Robertson, I. H., Ward, A., Ridgeway, V., & Nimmo-Smith, I. N. (1994). *Test of Everyday Attention*. Bury St Edmunds, U. K.
- Rogalsky, C., Rong, F., Saberi, K., & Hickok, G. (2011). Functional anatomy of language and music perception: Temporal and structural factors investigated using functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience*, 31(10), 3843-3852.
- Roy, M., Peretz, I., & Rainville, P. (2008). Emotional valence contributes to music-induced analgesia. *Pain*, 134, 140-147.
- Rubin, D. C. (1995). *Memory in oral traditions: The cognitive psychology of counting-out rhymes, ballads, and epics*. New York: Oxford University Press.
- Ruffman, T., Henry, J. D., Livingstone, V., & Phillips, L. H. (2008). A meta-analytic review of emotion recognition and aging: Implications for neuropsychological models of aging. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32(4), 863-881.
- Sacks, O. (2006). The power of music. *Brain*, 129(10), 2528-2532.
- Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature Neuroscience*, 14(2), 257-262.
- Salmon, E., Ruby, P., Perani, D., Kalbe, E., Laureys, S., Adam, S., & Collette, F. (2005). Two aspects of impaired consciousness in Alzheimer's disease. *Progress in Brain Research*, 150, 287-298.
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403-428.
- Sammler, D., Baird, A., Valabrègue, R., Clément, S., Dupont, S., Belin, P., & Samson, S. (2010). The relationship of lyrics and tunes in the processing of unfamiliar songs: A functional magnetic resonance adaptation study. *Journal of Neuroscience*, 30(10), 3572-3578.
- Samson, S., Baird, A., Moussard, A., & Clément, S. (in press). Does pathological aging affect musical learning and memory? *Music Perception*, 29.
- Samson, S., Dellacherie, D., & Platel, H. (2009). Emotional power of music in patients with memory disorders: Clinical implications of cognitive neuroscience. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 245-255.
- Samson, S., & Peretz, I. (2005). Effects of prior exposure on music liking and recognition in patients with temporal lobe lesions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060, 419-428.

- Satoh, M., & Kuzuhara, S. (2008). Training in mental singing while walking improves gait disturbance in Parkinson's disease patients. *European Neurology*, *60*(5), 237-243.
- Schellenberg, E. G. (2003). Does exposure to music have beneficial side effects? In I. Peretz & R. J. Zatorre (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Music* (pp. 430-448). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Schellenberg, E. G. (2006). Exposure to music: The truth about the consequences. In G. E. McPherson (Ed.), *The child as musician: A handbook of musical development* (pp. 111-134). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Schellenberg, E. G., & Hallam, S. (2005). Music listening and cognitive abilities in 10 and 11 year olds: The Blur effect. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1060*(202-209).
- Schellenberg, E. G., Nakata, T., Hunter, P. G., & Tamoto, S. (2007). Exposure to music and cognitive performance: Tests of children and adults. *Psychology of Music*, *35*, 5-19.
- Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., & Steinmetz, H. (1995). In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science*, *267*(5198), 699-701.
- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (1999). *Motor control and learning: A behavioral emphasis (3rd Ed.)*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schneider, P., Scherg, M., Dosch, H. G., Specht, H. J., Gutschalk, A., & Rupp, A. (2002). Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nature Neuroscience*, *5*(7), 688-694.
- Schneider, S., Schönle, P. W., Altenmüller, E., & Münte, T. F. (2007). Using musical instruments to improve motor skill recovery following a stroke. *Journal of Neurology*, *254*(10), 1339-1346.
- Schulkind, M. D. (2009). Is memory for music special? *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1169*, 216-224.
- Schulkind, M. D., Hennis, L. K., & Rubin, D. C. (1999). Music, emotion, and autobiographical memory: They're playing your song. *Memory and Cognition*, *27*(6), 948-955.
- Schulkind, M. D., Posner, R. J., & Rubin, D. (2003). Musical features that facilitate melody identification: How do you know it's "your" song when they finally play it? *Music Perception*, *21*(2), 217-249.
- Serafine, M. L., Crowder, R. G., & Repp, B. H. (1984). Integration of melody and text in memory for songs. *Cognition*, *16*, 285-303.
- Serafine, M. L., Davidson, R. J., Crowder, R. G., & Repp, B. H. (1986). On the nature of melody. Text integration in memory for songs. *Journal of Memory and Language*, *25*, 123-135.

- Sharot, T., & Yonelinas, P. (2008). Differential time-dependent effects of emotion on recollective experience and memory for contextual information. *Cognition*, *106*(1), 538-547.
- Shenfield, T., Trehub, S., & Nakata, T. (2003). Maternal singing modulates infant arousal. *Psychology of Music*, *31*(4), 365-375.
- Sherratt, K., Thornton, A., & Hatton, C. (2004). Music interventions for people with dementia: A review of literature. *Aging and Mental Health*, *8*, 3-12.
- Simmons-Stern, N. R., Budson, A. E., & Ally, B. A. (2010). Music as a memory enhancer in patients with Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, *48*(10), 3164-3167.
- Sitoh, Y. Y., & Tien, R. D. (1997). The limbic system. An overview of the anatomy and its development. *Neuroimaging clinics of North America*, *7*(1), 1-10.
- Sitzer, D. I., Twamley, E. W., & Jeste, D. V. (2006). Cognitive training in Alzheimer's disease: A meta-analysis of the literature. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, *114*(2), 75-90.
- Société-Alzheimer-Canada. (2010). Raz-de-marée : Impact de la maladie d'Alzheimer et des affections connexes au Canada: Société Alzheimer du Canada.
- Souchay, C., Moulin, C. J., Isingrini, M., & Conway, M. A. (2008). Rehearsal strategy use in Alzheimer's disease. *Cognitive Neuropsychology*, *25*(6), 783-797.
- Spaniol, J., Voss, A., & Grady, C. L. (2008). Aging and emotional memory: Cognitive mechanisms underlying the positivity effect. *Psychology and Aging*, *23*(4), 859-872.
- Sparks, R. W., & Holland, A. L. (1976). Method: Melodic Intonation Therapy for Aphasia. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, *41*(3), 287-297.
- Spilka, M. J., Steele, C. J., & Penhune, V. B. (2010). Gesture imitation in musicians and non-musicians. *Experimental Brain Research*, *204*(4), 549-558.
- Statistique-Canada. (2011), from <http://www.statcan.gc.ca/>
- Styns, F., Van Noorden, L., Moelants, D., & Leman, M. (2007). Walking on music. *Human Movement Science*, *26*, 769-785.
- Svansdottir, H. B., & Snaedal, J. (2006). Music therapy in moderate and severe dementia of Alzheimer's type: A case-control study. *International Psychogeriatrics*, *18*(4), 613-621.
- Swainson, R., Hodges, J. R., Galton, C. J., Semple, J., Michael, A., Dunn, B. D., . . . Sahakian, B. J. (2001). Early detection and differential diagnosis of Alzheimer's disease and depression with neuropsychological tasks. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, *12*(4), 265-280.
- Tardif, S., & Simard, M. (2011). Cognitive stimulation programs in healthy elderly: A review. *International Journal of Alzheimer's Disease*, ID 378934.

- Thaut, M. H., McIntosh, G. C., Rice, R. R., Miller, R. A., Rathbun, J., & Brault, J. M. (1996). Rhythmic auditory stimulation in gait training for Parkinson's disease patients. *Movement disorders, 11*(2), 193-200.
- Thaut, M. H., McIntosh, K. W., McIntosh, G. C., & Hoemberg, V. (2001). Auditory rhythmicity enhances movement and speech motor control in patients with Parkinson's disease. *Functional neurology, 16*(2), 163-172.
- Thaut, M. H., Peterson, D. A., & McIntosh, G. C. (2005). Temporal entrainment of cognitive functions: Musical mnemonics induce brain plasticity and oscillatory synchrony in neural networks underlying memory. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1060*, 243-254.
- Thompson, W. F., Schellenberg, E. G., & Husain, G. (2001). Arousal, mood, and the Mozart effect. *Psychological Science, 12*, 248-251.
- Thompson, W. F., Schellenger, G. E., & Husain, G. (2003). Perceiving prosody in speech. Effects of music lessons. *Annals of the New York Academy of Sciences, 999*, 530-532.
- Tillmann, B., & Dowling, W. J. (2007). Memory decreases for prose, but not for poetry. *Memory and Cognition, 35*(4), 628-639.
- Tillmann, B., Koelsch, S., Escoffier, N., Bigand, E., Lalitte, P., Friederici, A. D., & Von Cramon, D. Y. (2006). Cognitive priming in sung and instrumental music: Activation of inferior frontal cortex. *Neuroimage, 31*(4), 1771-1782.
- Valenzuela, M., & Sachdev, P. (2009). Can cognitive exercise prevent the onset of dementia? Systematic review of randomized clinical trials with longitudinal follow-up. *The American Journal of Geriatric Psychiatry, 17*(3), 179-187.
- Van der Linden, M., Belleville, S., & Juillerat, A.-C. (2000). L'optimisation du vieillissement cognitif dans le vieillissement normal et dans la maladie d'Alzheimer. In P. Cappeliez, P. Landreville & J. Vézina (Eds.), *Psychologie Clinique de la Personne Âgée* (pp. 99-126). Ottawa: Presses de l'Université d'Ottawa.
- Van der Winckel, A., Feys, H., De Weerd, W., & Dom, R. (2004). Cognitive and behavioral effects of music-based exercises in patients with dementia. *Clinical Rehabilitation, 18*, 253-260.
- Van Halteren-Van Tilborg, I. A., Scherder, E. J., & Hulstijn, W. (2007). Motor-skill learning in Alzheimer's disease: A review with an eye to the clinical practice. *Neuropsychology Review, 17*(3), 203-212.
- Vanstone, A. D., & Cuddy, L. L. (2010). Musical memory in Alzheimer disease. *Neuropsychology, Development, and Cognition. Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition, 17*(1), 108-128.

- Verghese, J., Lipton, R. B., Katz, M. J., Hall, C. B., Derby, C. A., Kuslansky, G., . . . Buschke, H. (2003). Leisure activities and the risk of dementia in the elderly. *The New England Journal of Medicine*, *348*(25), 2508-2516.
- Verhaeghen, P., Marcoen, A., & Goossens, L. (1992). Improving memory performance in the aged through mnemonic training: A meta-analytic study. *Psychology and Aging*, *7*(242-251).
- Vieillard, S., Peretz, I., Gosselin, N., Khalfa, S., Gagnon, L., & Bouchard, B. (2008). Happy, sad, scary and peaceful musical excerpts for research on emotions. *Cognition and Emotion*, *22*(4), 720-752.
- Vink, A. C., Birks, J. S., Bruinsma, M. S., & Scholten, R. J. (2004). Music therapy for people with dementia. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, *3*(CD003477).
- Wallace, W. T. (1994). Memory for music: Effect of melody on recall of text. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *20*, 1471-1485.
- Wan, C. Y., & Schlaug, G. (2010). Music making as a tool for promoting brain plasticity across the life span. *Neuroscientist*, *16*(5), 566-577.
- Warren, J. E., Wise, R. J. S., & Warren, J. D. (2005). Sounds do-able: Auditory-motor transformations and the posterior temporal plane. *Trends in Cognitive Sciences*, *28*, 636-643.
- Watanabe, D., Savion-Lemieux, T., & Penhune, V. B. (2007). The effects of early musical training on adult motor performance: Evidence for a sensitive period in motor learning. *Experimental Brain Research*, *176*, 332-340.
- White, D. A., & Murphy, C. F. (1998). Working memory for nonverbal auditory information in dementia of the Alzheimer type. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *13*(4), 339-347.
- White, R. T. (2002). Memory for events after twenty years. *Applied Cognitive Psychology*, *16*(5), 603-612.
- Whitehouse, P. J., & George, D. (2008). *The myth of Alzheimer's: What you aren't being told about today's most dreaded diagnosis*. New York: St. Martin's Press.
- Willis, S. L., Tennstedt, S. L., Marsiske, M., Ball, K., Elias, J., Koepke, K. M., . . . Wright, E. (2006). Long-term effects of cognitive training on everyday functional outcomes in older adults. *Journal of the American Medical Association*, *296*(23), 2805-2814.
- Wilson, S. J., Parsons, K., & Reutens, D. C. (2006). Preserved singing in aphasia: A case study of the efficacy of melodic intonation therapy. *Music Perception*, *24*(1), 23-36.
- Winocur, G., Craik, F. I. M., Levine, B., Robertson, I. H., Binns, M. A., Alexander, M. P., . . . Stuss, D. T. (2007). Cognitive rehabilitation in the elderly: Overview and future directions. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *13*(1), 166-171.

- Witvliet, C. V. O., & Vrana, S. R. (2007). Play it again Sam: Repeated exposure to emotionally evocative music polarises liking and smiling responses, and influences other affective reports, facial EMG, and heart rate. *Cognition and Emotion*, 21(1), 3-25.
- Wolfe, D. E., & Hom, C. (1993). Use of melodies as structural prompts for learning and retention of sequential verbal information by preschool students. *Journal of Music Therapy*, 30(2), 100-118.
- Wong, P. C. M., Skoe, E., Russo, N. M., Dees, T., & Kraus, N. (2007). Musical experience shapes human brainstem encoding of linguistic pitch patterns. *Nature Neuroscience*, 10, 420-422.
- Yalch, R. F. (1991). Memory in a jingle jungle: Music as a mnemonic device in communicating advertising slogans. *Journal of Applied Psychology*, 76(2), 268-275.
- Yesavage, J. A., Brink, T. L., Rose, T. L., Lum, O., Huang, V., Adey, M. B., & Leirer, V. O. (1983). Development and validation of a geriatric depression screening scale: A preliminary report. *Journal of Psychiatric Research*, 17, 37-49.
- Zatorre, R. J., Chen, J. L., & Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: Auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews. Neuroscience*, 8(7), 547-558.
- Zendel, B. R., & Alain, C. (2008). Concurrent sound segregation is enhanced in musicians. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(8), 1488-1498.
- Zendel, B. R., & Alain, C. (2011). Musicians experience less age-related decline in central auditory processing. *Psychology and Aging*.
- Zimmer, H. D., & Cohen, R. L. (2001). Remembering actions: A specific type of memory? In H. D. Zimmer, R. L. Cohen, M. J. Gynn, J. Engelkamp, R. Kormi-Nouri & M. A. Foley (Eds.), *Memory for action* (pp. 3-24). Oxford: Oxford University Press.